

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 24

Луцьк – 2025

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

LUTSK NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

Modern technologies
and methods of calculations in construction

Collection of scientific articles

Volume 24

Lutsk – 2025

**Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, ЛНТУ. 2025,
Випуск 24, 716 с. ISSN 2410-6208 (друк)**

У збірнику наукових статей висвітлюються результати наукових досліджень будівельних матеріалів і конструкцій; технологій зведення та експлуатації будівель, інженерних і транспортних систем; теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам та методів розрахунку; сучасних тенденцій проєктних рішень у будівництві; енергоефективних технологій у міському будівництві та господарстві.

Призначений для науковців, фахівців проєктних установ і виробничих підприємств, аспірантів та докторантів, викладачів та здобувачів вищої освіти.

Редакційна колегія:

Головний редактор – **Мікуліч О.А.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк)

Заступник редактора – **Пустольга С.І.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк)

Відповідальний секретар – **Ротко С.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк)

Азізов Т.Н., д.т.н., професор (УДПУ, Умань); **Андрійчук О.В.**, к.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк); **Абрамюк І.Г.**, к. арх. (Університет Зеленогурський, Польща); **Бліхарський З.Я.**, д.т.н., професор (НУ «Львівська політехніка», Львів); **Бондарський О.Г.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Богаткевич Януш**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Борзяк О.С.**, д.т.н., професор (Західнопоморський технологічний університет, м. Щецин, Польща); **Верешко О.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Голодинов О.І.**, д.т.н., професор (НАУ, Київ); **Гомон С.С.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Дзюбинська О.В.**, к.е.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Дробішинець С.Я.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Задорожнікова І.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Іванченко Г.М.**, д.т.н., професор (КНУБА, Київ); **Ільчук Н.І.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Карась Славомір**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Кислюк Д.Я.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Клименко Є.В.**, д.т.н., професор (ОДАБА, Одеса); **Кочкаръов Д.В.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Кундрат М.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ «Львівська політехніка», Львів); **Мельник Ю.А.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківська політехніка, Польща); **Павліков А.М.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Полтава); **Парфентьева І.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пасічник О.С.**, к. арх., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пасічник Р.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пахолок О.А.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пашинський В.А.**, д.т.н., професор (ЦНТУ, Кропивницький); **Пічугін С.Ф.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Полтава); **Процюк В.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (НТУ, Київ); **Самчук В.П.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Синій С.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Смаль М.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Сунак П.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Ужегов С.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Чапук О.С.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Шимчук О.П.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Шишкін О.О.**, д.т.н., професор (КНУ, Кривий Ріг); **Ясюк І.М.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк)

Збірник зареєстрований Національною радою України з питань телебачення і радіомовлення (рішення № 40 від 11.01.2024 р., ідентифікатор медіа R30-02453)

Збірник включений Міністерством освіти і науки України до переліку наукових фахових видань України (**категорія Б**) за спеціальностями **192 – Будівництво та цивільна інженерія** (наказ МОН України, № 886 від 02.07.2020 р.); **113 – Прикладна математика**; **122 – Комп'ютерні науки** (наказ МОН України, № 409 від 17.03.2020 р.)

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні вченої ради ЛНТУ (протокол № 3 від 26 листопада 2025 р.)

Адреса редакції: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький національний технічний університет, кафедра будівництва та цивільної інженерії

e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com

сайт: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/>

**Modern technologies and methods of calculations in construction. Lutsk, LNTU.
2025, Volume 24, 716 p. ISSN 2410-6208 (print)**

The collection of scientific articles highlights the results of scientific research on building materials and structures; technologies of construction and operation of buildings, engineering and transport systems; theories of resistance of elements of building structures to external influences and calculation methods; modern trends of project solutions in construction; energy-efficient technologies in urban construction and economy.

Intended for scientists, specialists of design institutions and production enterprises, post-graduate and doctoral students, teachers, and students of higher education.

Editorial Board:

Editor-in-Chief – **Mikulich O.A.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LNTU, Lutsk)

Deputy Editor – **Pustyluga S.I.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LNTU, Lutsk)

Executive Secretary – **Rotko S.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk)

Azizov T.N., Dr of Techn. Sc., Prof. (Pavlo Tychyna USPU, Uman); **Andriichuk O.V.**, Ph.D., Prof. (LNTU, Lutsk); **Abramyuk I.G.**, Ph.D., As. Prof. (University of Zelenogorsk, Poland); **Blikharsky Z.Ya.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LPNU, Lviv); **Bondarsky O.G.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Bogatkevych Janusz**, Dr of Techn. Sc., Prof. (Lublin Polytechnic, Poland); **Borzyak O.S.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland); **Vereshko O.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Golodnov O.I.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NAU, Kyiv); **Gomon S.S.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NUWEE, Rivne); **Dzyubynska O.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Drobyshynets S.Ya.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Zadorozhnikova I.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Ivanchenko G.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (KNUBA, Kyiv); **Ilichuk N.I.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Karaś Sławomir**, Dr of Eng. (Lublin Polytechnic, Lublin, Poland); **Kyslyuk D.Ya.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Klymenko Ye.V.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (OSACEA, Odesa); **Kochkarev D.V.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NUWEE, Rivne); **Kundrat M.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NUWEE, Rivne); **Maksymovych O.V.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LPNU, Lviv); **Melnyk Yu.A.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Naumov V.S.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (Cracow University of Technology, Cracow, Poland); **Pavlikov A.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (PNTU, Poltava); **Parfentyeva I.O.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pasichnyk O.S.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pasichnyk R.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pakholiuk O.A.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pashinsky V.A.**, Dr of Techn. Sc., As. Prof. (CNTU, Kropyvnytskyi); **Pichugin S.F.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (PNTU, Poltava); **Protsyuk V.O.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Savenko V.Y.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NTU, Kyiv); **Samchuk V.P.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Synii S.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Smal M.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Sunak P.O.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Trach V.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NUWEE, Rivne); **Uzhehov S.O.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Uzhehova O.A.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Chapyuk O.S.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Shymchuk O.P.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Shishkin O.O.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (KNU, Kryvyi Rih); **Yasiuk I.M.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk).

The National Council of Ukraine registers the collection on [Television and Radio Broadcasting](#) (resolution No. 40 dd 11.01.2024, Media ID R30-02453).

The collection is included by the Ministry of Education and Science of Ukraine in the List of scientific professional publications of Ukraine (**category B**), which can publish the results of theses for doctoral and candidate of technical sciences in specialties: **192 Construction and Civil Engineering** (order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 886 dd 02.07.2020); **113 Applied Mathematics**; **122 Computer Science** (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine №409 dd 17.03.2020).

The materials of the collection were recommended for publication at the meeting of the academic council of the LNTU (protocol No. 3 of November 26, 2025).

Editorial office address: 43018, Lutsk, 56, Potebni St., Lutsk National Technical University, Department of Construction and Civil Engineering, phone (0332) 26-24-60

e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com , сайт: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/>

ISSN 2410-6208

© *Lutsk National
Technical University, 2025*

УДК 624.011

Т.Н. Азізов

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9621-9805>

Кафедра Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд

Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029

Д.В. Кочкар'юв

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4525-7315>

Кафедра Миського будівництва та господарства

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33028

О.Ф. Майстренко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2941-4149>

Кафедра Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд

Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029

*автор-кореспондент, e-mail: maystrenkoof@gmail.com

Розрахунок багатопанельових панелей з деревини за допомогою теорії складених стрижнів

Цитувати як:

Азізов, Т.Н., Кочкар'юв, Д.В., Майстренко, О.Ф. (2025). Розрахунок багатопанельових панелей з деревини за допомогою теорії складених стрижнів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 5-19. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-01)

© 2025, Азізов, Т.Н., Кочкар'юв, Д.В., Майстренко, О.Ф.

У статті запропоновано методику розрахунку панелей з поперечно-клеєної деревини за допомогою теорії складених стрижнів і стрижневої апроксимації. Показано, що на відміну від існуючих підходів робота панелі розглядається у двох напрямках, а не як балкова система. Спочатку у кожному напрямку визначаються жорсткісні характеристики панелі з врахуванням зсуву. Потім плита розраховується як ортотропна плита з різними жорсткісними характеристиками у взаємно перпендикулярних напрямках. При цьому такий розрахунок проводиться або як ортотропна суцільна плита, або як перехресно-стрижнева система. Для визначення жорсткісних характеристик у кожному напрямку з врахуванням зсуву дошок поперечного напрямку використано теорію складених стрижнів. Враховуючи граничні умови, система диференціальних рівнянь зведена до системи алгебраїчних рівнянь за допомогою розкладання невідомих і зовнішнього навантаження в ряди Фур'є. Показано, що врахування зсуву поперечних дошок суттєво впливає на кінцевий результат максимальних переміщень в середині прольоту ПКД панелі. Розрахунок за теорією складених стрижнів з пропозиціями застосування рядів Фур'є для рішення системи диференціальних рівнянь дозволяє визначити жорсткісні характеристики у двох взаємно перпендикулярних напрямках ПКД панелі. Показано, що перевага застосування теорії складених стрижнів полягає в тому, що за її допомогою можна розраховувати панелі з будь-

якою кількістю шарів. Крім того, теорія складених стрижнів дозволяє враховувати різні жорсткості у швах між складовими стрижнями, різні товщини дошок у шарах ПКД панелі. У статті показано, що на сьогодні ПКД панелі розраховують за балковою теорією, хоча панель перекриття працює у двох напрямках і її робота відрізняється від балкової. Застосування запропонованої авторами цієї статті стрижневої апроксимації для розрахунку ПКД панелей дозволяє розраховувати їх з врахуванням наявності роботи у двох напрямках. Стрижнева апроксимація дозволяє вирішити проблему правильного моделювання плити і усунення складності врахування різної товщини плити у двох напрямках.

Ключові слова: ПКД панель, роликовий зсув, стрижнева апроксимація, складені стрижні, дерев'яні конструкції, ряд Фур'є.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Деревина, як будівельний матеріал має багато корисних властивостей: екологічність, незначна вага дерев'яних конструкцій, можливість простої утилізації або подальшої переробки, стійкий опір хімічно-агресивним середовищам, довговічність. Останнім часом створені матеріали, такі як шпоновий брус, панелі з поперечно-клеєної деревини ПКД або CLT. Панелі ПКД складаються з непарної кількості шарів дошок, розташованих у взаємно перпендикулярному напрямку у суміжних шарах, що перетворює їх на суцільну плиту [11] (рис. 1).

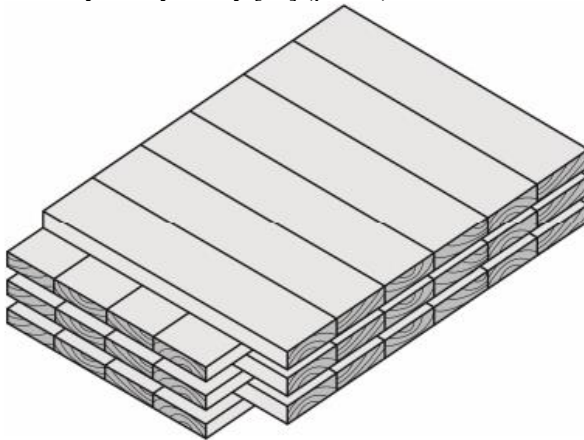


Рис. 1. Схема розташування дошок у панелі з поперечно-клеєної деревини

Завдяки їх перевагам останнім часом в Європі, США будують з таких панелей житлові будівлі, включаючи багатопверхові.

Існуючі методи розрахунку та проектування будівель із ПКД панелей потребують удосконалення та нових розробок для будівництва житлових

будинків.

ПКД панелі використовують і як стінові панелі, і як панелі перекриття. Не зважаючи на те, що ПКД панель перекриття працює у двох напрямках, більшість методів розрахунку розглядають їх як балкові елементи, що не відповідає їх дійсній роботі.

Розрахунок ПКД панелей при згині значно відрізняється від розрахунку балок з клеєної деревини не тільки через взаємно ортогональну структуру дошок, але й через граничні умови, за яких працюють ці панелі [1, 4, 5].

При визначенні напружень у шарах дошок ПКД панелей, які розташовані впоперек напрямку відносно площини або напрямку діючої сили, ними нехтують. По суті, дошки поперечного напрямку відіграють роль шпонок, які з'єднують дошки поздовжнього напрямку.

Існує чимало методів розрахунку міцності ПКД панелей при згині. Кожна з розрахункових моделей базується на певній схемі апроксимації. Найпоширенішими методами розрахунку є Гамма-метод, метод Тимошенка та метод зсувної аналогії [1, 4-6, 11]. Модель Гамма-методу [1, 11] розглядає ПКД панель (рис. 2,а) як балку на піддатливих в'язях (рис. 2,б).

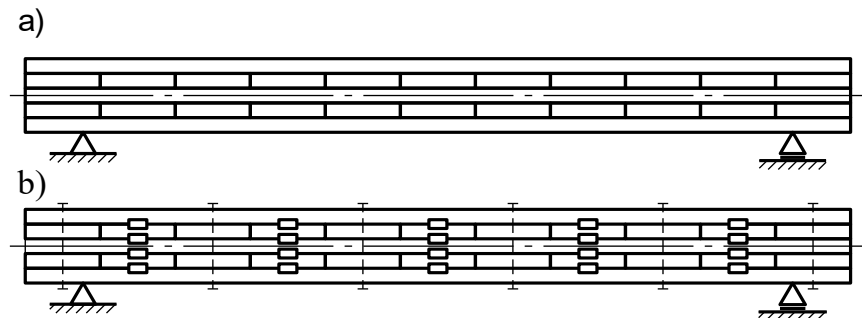


Рис. 2. Розрахункова схема панелі з поперечно-клеєної деревини

У гамма-методі згідно з методикою [6, 11] складені різні рівняння для ПКД панелей як системи балок на піддатливих в'язях. При цьому застосовуються редукційні коефіцієнти для моментів інерції.

Гамма-метод базується на наступних припущеннях [11]:

1. Теорія згину є дійсною для всіх поперечних перерізів.
2. Вплив дотичних напружень на прогин не враховується.
3. Криві відхилення окремих балок передбачаються. Отже, стан деформації можна визначити, змістивши центр ваги повного перерізу ПКД панелі.

4. Поперечний переріз ПКД панелі симетричний щодо одного шару,

який навантажений і призводить до визначення одновісного згину.

5. Поперечні перерізи шарів дошок з'єднані на основі безперервної передачі зсуву з постійною жорсткістю зсуву.

6. Передбачається пружна робота елементів.

7. Тертя у вузлових з'єднаннях не враховується.

Методика, викладена у Єврокод-5 [7] незначно відрізняється від представлення системи лінійних рівнянь для визначення пружного коефіцієнта γ (величина кожного шару).

На думку автора [11] альтернативним методом для визначення напружень згину та деформативності у ПКД панелі є метод С.П. Тимошенка. В балках Ейлера-Бернуллі застосовується гіпотеза плоских перерізів. Модифікований такому підходу метод або метод Тимошенка передбачає визначення деформації стержня по зсувній моделі, згідно до якої поперечний переріз після деформації залишається плоским та перпендикулярним до осі стрижня, але змінює форму. Теорія стрижня Тимошенка передбачає плоскі перерізи, однак, оскільки поперечні перерізи не можуть залишатися плоскими через зсув, співвідношення між поперечною силою та деформацією зсуву стрижня слід розглядати як наближення. Для того, щоб проаналізувати жорсткість зсуву в теорії стержнів Тимошенка, використовується коефіцієнт корекції зсуву k . Стосовно ПКД панелей, гнучкість до зсуву поперечних шарів є важливим фактором за теорію стрижнів Тимошенка, яка включає деформації зсуву.

Кожна методика має свої переваги та недоліки. Але з точки зору теорії будівельної механіки введення різних коефіцієнтів не є теоретично обгрунтованим.

Панелі ПКД, які мають шари з різним опором зсуву, можуть бути розраховані за теорією складених стрижнів О.Р. Ржаніцина [13], якою за неясних причин чомусь спеціалісти з розрахунку і проектування ПКД панелей нехтували. Теорія складених стрижнів (ТСС) дозволяє розрахувати багатошарову конструкцію без обмеження кількості шарів, їх геометричних і механічних характеристик. Подібний до теорії складених стрижнів метод розробив Р. Szeptynski [8], однак теорія складених стрижнів має більш широкі можливості.

Як було сказано вище, ПКД панель перекриття в реальності працює як плита у двох напрямках. Але всі методики, розглянуті вище, передбачають розрахунок ПКД панелей як балкових елементів. Зважаючи на те, що робочі шари у двох взаємно перпендикулярних напрямках ПКД панелі мають різну кількість шарів, розрахунок таких панелей за теорією тонких плит [9], навіть з врахуванням ортотропності, є проблематичним.

З огляду на вищесказане метою статті є розроблення методики розрахунку ПКД панелей із застосуванням теорії складених стрижнів і

стрижневої апроксимації роботи суцільних плит.

Результати та обговорення

ПКД панель має шари дошок, кожний наступний з яких є перпендикулярним попередньому шару (див. рис. 1). Причому кількість шарів в одному напрямку менша, ніж у перпендикулярному напрямку. Якщо панель є панеллю перекриття, яка обпирається по контуру, то розрахувати її як пластину за теорією плит [9] було б некоректним, оскільки теорія плит передбачає однакову товщину плити в будь-якій точці. Зважаючи на те, що робота шарів дошок, що лежать перпендикулярно до розглядуваного напрямку згину, не враховується, то виходить, що товщина плити в одному напрямку має величину $3t$ (де t – товщина шару дошок), а в перпендикулярному – $2t$. Розглянуті вище методики розрахунку передбачають окремий розрахунок як балки в одному і перпендикулярному напрямках. Але насправді ця конструкція є плитою, яка працює в двох напрямках. Звичайно, можна застосувати теорію розрахунку ортотропних плит. У програмі (наприклад, Ліра-САПР) можна задати різні модулі пружності у взаємно перпендикулярних напрямках, але неможливо задати товщину скінченного елемента плити різною в різних напрямках. Відомо, що циліндрична жорсткість D_x в напрямку осі x , жорсткість D_y в напрямку осі y , жорсткість кручення D_{xy} визначаються за формулами [9]:

$$D_x = \frac{E_x h^3}{12}; \quad D_y = \frac{E_y h^3}{12}; \quad D_{xy} = \frac{G h^3}{12} \quad (1)$$

де E_x , E_y – відповідно модулі пружності в одному і перпендикулярному напрямку; G – модуль зсуву; h – товщина пластини.

Модулі пружності E_x та E_y можна підібрати таким чином, щоб величини D_x та D_y відповідали дійсним значенням (якщо вони знайдені, про що буде сказано нижче), і тоді товщина h плити може бути вибрана довільно. Але для величини D_{xy} в будь-якому випадку потрібна товщина плити h . Окрім того, при визначенні D_{xy} в теорії плит передбачається, що модуль зсуву постійний для всіх точок суцільної плити, а в нашому випадку є модуль зсуву при крученні самих дошок і модуль зсуву поперечних дошок при так званому роликовому зсуві, який в рази менший основного модуля зсуву.

Рішенням проблеми може бути застосування стрижневої апроксимації, яка запропонована авторами цієї статті [2, 3, 10], на чому зупинимося нижче. Тут же розглянемо визначення жорсткісних характеристик ПКД панелі у двох напрямках. Для цього застосуємо теорію складених стрижнів (ТСС) [13].

Переріз уздовж одного з напрямків панелі показано на рис. 3.

Така балка шириною b розглядається як складений стрижень із трьох шарів і двох швів. Шари 1, 2 та 3 працюють на згин, а дошки швів відіграють роль в'язей зсуву.

Для визначення дотичних сил T_i у складеному стрижні з абсолютно жорсткими поперечними в'язями (рис. 4) у [13] виведено систему диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{T_1''}{\xi_1} - \Delta_{11}T_1 - \Delta_{12}T_2 - \dots - \Delta_{1k}T_k = \Delta_{10} \\ & \frac{T_2''}{\xi_2} - \Delta_{21}T_1 - \Delta_{22}T_2 - \dots - \Delta_{2k}T_k = \Delta_{20} \\ & \dots\dots\dots \\ & \frac{T_k''}{\xi_k} - \Delta_{k1}T_1 - \Delta_{k2}T_2 - \dots - \Delta_{kk}T_k = \Delta_{k0} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$T_i(x) = \int_0^x \tau_i dx \quad (3)$$

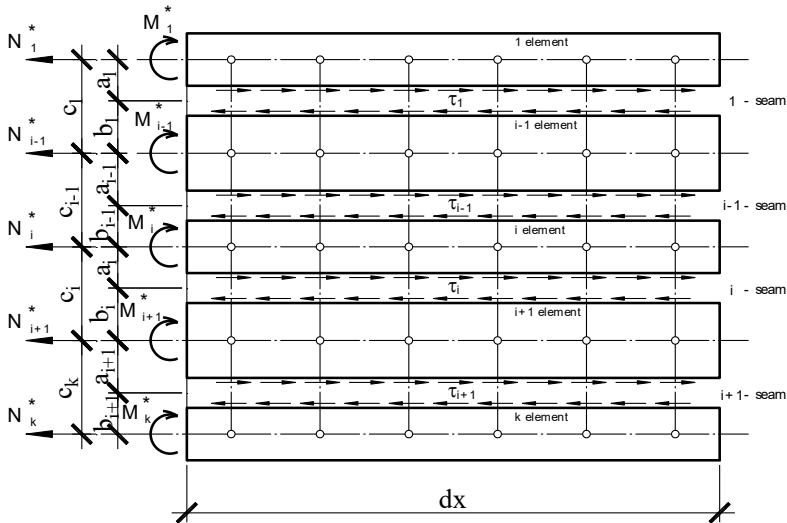


Рис. 4. Схема складеного стрижня з абсолютно жорсткими поперечними в'язями [13]

У рівняннях (2) через ξ позначено коефіцієнт жорсткості в'язей зсуву. В нашому випадку його значення ξ_i для кожного i -того шва буде визначено виразом:

$$\xi_i = \frac{bG_s}{C_i} \quad (4)$$

де G_s – модуль зсуву для шва; C_i – відстань між центрами ваги стрижнів, що розташовані вище і нижче i -того шва (див. рис. 4).

Враховуючи, що в ПКД панелях опір поперечних дошок зсуву має доволі низьке значення, то модуль зсуву G_s слід приймати рівним величині так званого роликового зсуву, який значно менший за модуль зсуву деревини. Так, за даними [11] для ПКД панелі класу міцності CL24 модуль пружності в площині складає $E=11600$ МПа, а опір роликовому зсуву $G_s=65$ МПа, тоді як у розрахунках звичайних дерев'яних конструкцій [7, 12] відношення модуля пружності до модуля зсуву складає приблизно 16, що відповідає значенню 650-700 МПа.

Ця обставина говорить про те, що врахування зсуву у розрахунках такого складеного стрижня є доволі важливою частиною.

Для ПКД панелей граничні умови для дотичних сил $T_i(x)$ мають вигляд:

$$T_i(0) = T_i(l) = 0 \quad (5)$$

Ця обставина дозволяє скористатись для рішення системи диференціальних рівнянь (2) розкладанням невідомих $T_i(x)$ у ряди Фур'є по синусах. При цьому і вільні члени $\Delta_{i,0}$, в які входить згинальний момент від зовнішнього навантаження $M_0=M_0(x)$, також неважко розкласти у ряд Фур'є по синусах, тоді матимемо:

$$T_i(x) = \sum_{n=1}^{\infty} b_{n,i} \sin(\alpha \cdot x); \quad M_{0,i}(x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_{n,i} \sin(\alpha \cdot x); \quad (6)$$

де $b_{n,i}$ – невідомі коефіцієнти ряду Фур'є, які підлягають визначенню; $\alpha = \pi \cdot n / l$; $a_{n,i}$ – коефіцієнти Фур'є розкладання моменту від зовнішнього навантаження (розкладання $\Delta_{i,0}$); l – прольот (у даному розглядуваному) напрямку панелі.

Підставляючи (6) в (2) і скорочуючи на $\sin(\alpha \cdot x)$, отримаємо систему вже не диференціальних, а алгебраїчних рівнянь для визначення невідомих коефіцієнтів Фур'є $b_{n,i}$.

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\alpha^2}{\xi_1} - \Delta_{11} b_{n,1} - \Delta_{12} b_{n,2} - \dots - \Delta_{1k} b_{n,k} = a_{n,1} \\ & \frac{\alpha^2}{\xi_2} - \Delta_{21} b_{n,1} - \Delta_{22} b_{n,2} - \dots - \Delta_{2k} b_{n,k} = a_{n,2} \\ & \dots\dots\dots \\ & \frac{\alpha^2}{\xi_k} - \Delta_{k1} b_{n,1} - \Delta_{k2} b_{n,2} - \dots - \Delta_{kk} b_{n,k} = a_{n,k} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Система (7) вирішується m разів, де m – верхня межа суми нескінченного ряду (6). Розрахунки показують, що достатньо 5-7 непарних членів ряду для отримання достатньої точності розрахунку.

Після знаходження невідомих $b_{n,i}$ із системи (7), підставляючи їх у (6), знайдемо розподіл функцій $T_i(x)$.

Знаючи дотичні сили $T_i(x)$, неважко визначити прогини складеної балки з відомої диференціальної залежності опору матеріалів:

$$y^H = \frac{M}{\sum EJ} \quad (8)$$

де $\sum E_I$ – сума моментів інерції всіх складових (всіх шарів)

складеного стрижня; M – сумарний момент складеного стрижня, який складається з моменту від зовнішнього навантаження M_q і моменту від дії всіх дотичних сил $T_i(x)$ в швах:

$$M = M_q - \sum_{i=1}^k T_i C_i \quad (9)$$

Тут C_i – відстані між центрами ваги суміжних з i -тим швом складових стрижнів (див. рис. 4).

Застосування рядів Фур'є для рішення системи рівнянь і тут допомагає без складнощів визначити прогини складеного стрижня. Проінтегрувавши вираз (8) два рази з врахуванням (9) і розкладання (6), отримаємо:

$$y(x) = \frac{1}{EJ} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha^2} \left(a_n - \sum_{i=1}^k b_{n,i} C_i \right) \sin(\alpha \cdot x); \quad (10)$$

де a_n – коефіцієнти Фур'є розкладання моментів від зовнішніх сил (відомі величини); $b_{n,i}$ – визначені з системи рівнянь (7) коефіцієнти Фур'є для сил $T_i(x)$ в i -тому шві.

Ряд (10) також, як і ряд (6) дуже швидко збігається. Так, для складеної балки з двома швами при трьох непарних членах ряду похибка у величині максимального прогину в середині прольоту складає менше 1%.

На цьому частина задачі, яка стосується визначення зусиль в швах і прогинів складеного стрижня, закінчена.

На відміну від Гамма-методу та інших методів, що наведені вище, застосування теорії складених стрижнів дозволяє розраховувати панелі з будь-якою кількістю шарів. Крім того, теорія складених стрижнів дозволяє враховувати різні жорсткості в швах між складовими стрижнями, різні товщини дошок в шарах ПКД панелі. Це обумовлено тим, що в системі диференціальних рівнянь (2) кожен стрижень (балка) може мати свою товщину та будь-який поперечний переріз. Крім того, кожен шов складеного стрижня може мати свій коефіцієнт жорсткості ξ_i (за формулою 4), що робить застосування теорії складених стрижнів універсальним для розрахунку ПКД панелей. При бажанні уточнення розрахунків можливе корегування формули (4) для визначення коефіцієнта жорсткості шва ξ_i , включивши зсув не тільки поперечних дошок, а й зсув дошок основного напрямку.

Перейдемо тепер до розрахунку ПКД панелі як плити, яка працює у двох напрямках. Вище було показано, що методи розрахунку ПКД панелей розглядають їх як балкові елементи, які працюють в одному напрямку. Насправді панель перекриття працює як плита у двох напрямках, хоча й має різні жорсткості на згин у взаємно перпендикулярних напрямках.

Для рішення цієї задачі слід розглянути одну смугу панелі у напрямку осі X як балку і визначити її згинальну жорсткість. Потім

розглянути смугу у перпендикулярному напрямку (напрямку осі Y) і визначити її згинальну жорсткість. При цьому слід мати на увазі, що, наприклад, панель, яка показана на рис. 3, у напрямку осі X буде мати три стрижні і два шви, а у напрямку осі Y – два стрижні і один шов.

Для розрахунку панелі як плити, обертої по контуру, зручно застосувати методіку авторів цієї статті [2, 3, 10] у вигляді стрижневої апроксимації. При цьому замість суцільної плити розглядається перехресно-балкова система.

Як було показано в [2, 3, 10] для моделювання ортотропної плити ширина апроксимуючих балок приймається рівною кроку балок в даному напрямку. Модуль пружності балок приймається за виразом:

$$E_b = \frac{E}{1 - \mu^2} \quad (11)$$

де E_b , E – відповідно модуль пружності апроксимуючої балки і плити; μ – коефіцієнт Пуассона. Згинальна жорсткість балок $EJ = E_b \cdot J$, де J – момент інерції поперечного перерізу балки. Крім того, як було показано в [2, 3, 10], крутильна жорсткість апроксимуючих балок GJ повинна прийматись рівною їх згинальній жорсткості, тобто $GJ = EJ$.

Порядок розрахунку ПКД панелі наступний.

1. Приймаємо певний крок апроксимуючих балок одного і другого напрямку. Наприклад, у напрямку осі x крок a ; у напрямку осі y – крок b . Чим більша кількість кроків, тим точніший розрахунок. Однак цілком достатньо прийняти 20 кроків балок.

2. Розраховуємо за наведеною вище методикою складені стрижні одного та перпендикулярного напрямку на задане навантаження із заданими характеристиками ПКД панелі.

3. Визначаємо максимальний прогин у середині прольоту для складеного стрижня кожного напрямку $f_{x,\max}$; $f_{y,\max}$

4. Визначаємо еквівалентні жорсткості у двох напрямках умовно суцільної балки з відомого виразу опору матеріалів (при рівномірному зовнішньому навантаженні q):

$$EJ_{x,ekv} = \frac{5ql^4}{385f_{x,\max}}; \quad EJ_{y,ekv} = \frac{5ql^4}{385f_{y,\max}} \quad ((12))$$

5. Враховуючи вираз (11), зменшуємо $EJ_{x,ekv}$ та $EJ_{y,ekv}$ множенням на коефіцієнт $k_\eta = 1/(1 - \mu^2)$ і отримуємо розрахункові значення жорсткостей балок вздовж осей X та Y :

$$EJ_x = EJ_{x,ekv} k_\mu; \quad EJ_y = EJ_{y,ekv} k_\mu \quad (13)$$

6. Складаємо розрахункову перехресно-балкову систему, враховуючи, що у напрямках осей X та Y балки мають різні жорсткості EJ_x та EJ_y за (13) і розраховуємо її або за методикою [2, 10], або із застосуванням

будь-якого програмного комплексу.

7. За методикою [10] переходимо від моментів у балках до моментів у плиті.

8. Перевіряємо умови міцності нормальних перерізів, умови граничних прогинів тощо.

Розрахунок складених балок у одному та перпендикулярному напрямку за описаною вище методикою дозволяє врахувати зсув дошок поперечного напрямку, чим суттєво уточнюються результати.

Після визначення $EJ_{x,ekv}$, $EJ_{y,ekv}$ за формулами (12) можна також розрахувати ПКД панель з використанням програмного комплексу із застосуванням теорії ортотропних плит. Для цього слід прийняти певну товщину плити, а потім модулі пружності E_x , E_y у взаємно перпендикулярних напрямках прийняти:

$$E_x = \frac{EJ_{x,ekv}}{J}; \quad E_y = \frac{EJ_{y,ekv}}{J} \quad (14)$$

де J – момент інерції одиничної ширини плити з однаковою товщиною h плити в обох напрямках. Це дозволить з одного боку використати існуючі програмні комплекси, а з іншого боку – врахувати різну кількість шарів дошок у взаємно перпендикулярних напрямках з одночасним врахуванням зсуву дошок, перпендикулярних до напрямку, що розглядається.

Розглянемо приклад. Нехай ми розраховуємо смугу шириною 15 см в напрямку осі X (за рис. 3) для ПКД п'ятишарової панелі. Нехай прольот панелі 3 м, товщина дошок 3 см. У напрямку осі X маємо складену балку із трьох шарів із двома швами (див. рис. 3).

Механічні характеристики деревини: модуль пружності $E=11600$ МПа, модуль зсуву при роликовому зсуві $G_s=65$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0.25$. Враховуючи, що розрахунок дерев'яних конструкцій практично за всіма нормативними документами проводиться у пружній стадії, для аналізу впливу зсуву неважливе значення зовнішнього навантаження. Тому в прикладі прийемо, що навантаження на ПКД панель складає 5 КПа. Тоді погонне навантаження на смугу шириною 0.15 м буде складати $q=750$ Н/м.

В результаті розрахунку за наведеною вище методикою отримані такі дані: максимальний прогин в середині прольоту $f_{x,max}=2.38$ мм; $EJ_{x,ekv}=332.6$ кН·м². Якщо б ми розраховали смугу панелі як суцільну балку, то жорсткість EJ склала б 489 кН·м², що в 1.47 раза більше. Тобто реальна згинальна жорсткість такої балки з врахуванням зсуву поперечних дошок на 47% менша, відповідно і максимальний прогин в середині прольоту більший на 47%.

Тепер розрахуємо таку ж смугу шириною 15 см в перпендикулярному напрямку. В цьому напрямку (див. рис. 3) ми маємо два

шари дошок з одним швом. В результаті розрахунку отримано: $f_{y,\max}=8.38$ мм; $EJ_{y,\text{екв}}=94.4 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$. Якщо б ми розраховували смугу панелі як суцільну балку, то жорсткість EJ складала б $106 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$, що в 1.12 раза більше.

Тепер для розрахунку плити створюємо перехресно-балкову систему, де жорсткість балок за формулами (13) у напрямку осі X дорівнює $EJ_x=332.6/(1-0.25^2)=354.8 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$; у напрямку осі Y дорівнює $EJ_y=94.4/(1-0.25^2)=100.7 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$. Крутильні жорсткості балок згідно з методикою авторів цієї статті [2, 3, 10] слід прийняти рівними їх згинальній жорсткості, тобто $GJ_x=EJ_x$; $GJ_y=EJ_y$.

В результаті розрахунку цієї системи у програмі Ліра-САПР отримуємо максимальний прогин панелі в середині прольоту $f_{\max}=1.168$ мм. Розрахунок тієї ж системи (в припущенні суцільного перерізу) з жорсткостями (див. вище): $EJ_x=489 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$; $EJ_y=106 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$, дає значення $f_{\max}=0.899$ мм, що на 30% менше. Наведений приклад показує важливість врахування зсуву поперечних дошок.

Висновки

Врахування зсуву поперечних дошок суттєво впливає на кінцевий результат максимальних переміщень у середині прольоту ПКД панелі. У різні часи вчені різних країн застосовували різні методи для розрахунку таких панелей. Розрахунок за теорією складених стрижнів із пропозиціями застосування рядів Фур'є для рішення системи диференціальних рівнянь дозволяє визначити жорсткісні характеристики у двох взаємно перпендикулярних напрямках ПКД панелі.

Перевага застосування теорії складених стрижнів у тому, що за її допомогою можна розраховувати панелі з будь-якою кількістю шарів. Крім того, теорія складених стрижнів дозволяє враховувати різні жорсткості у швах між складовими стрижнями, різні товщини дошок у шарах ПКД панелі.

Ми показали, що на сьогодні ПКД панелі розраховують за балковою теорією, хоча панель перекриття працює у двох напрямках і її робота відрізняється від балкової. Застосування запропонованої авторами цієї статті стрижневої апроксимації для розрахунку ПКД панелей дозволяє розраховувати їх з врахуванням наявності роботи у двох напрямках. Стрижнева апроксимація дозволяє вирішити проблему правильного моделювання плити і усунення складності врахування різної товщини плити у двох напрямках.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Aicher S. (1987). Bemessung biegebeanspruchter Sandwichbalken mit dem modifizierten γ -Verfahren In: Bautechnik, 03, 79-86.
2. Azizov T. (2022). Determination of Bending and Torque moments in Orthotropic Plate as in a Crossbeam System, Sciences of Europe, 1 87, 61-63.
3. Azizov T., Kochkarev D. (2023). Limits of Using the Theory of Plates in the Calculation of Reinforced Concrete Slabs, Sciences of Europe, 111, 28-32.
4. Blass H., Fellmoser P. (2004). Design of solid wood panels with cross layers. Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering (Lahti, Finland), 1001-1006.
5. Blass H.J., Görlacher R. (2000). Rolling shear in structural bonded timber elements. Proc. Int. Conf. on Wood and Wood fiber Composites. Stuttgart, Germany, 327-337.
6. Moosbrugger T., Neumüller F. (2017). Neumüller A., Schwinden und Quellen von orthogonal verklebten Holzprodukten – Teil 1: Globales Schwindverhalten von Blockbohlen und Brettsperthölzern. In: Holztechnologie, 58, 5, IHD, Dresden.
7. EN 1995-1-1:2008; Eurocode 5: (2008). Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium.
8. Szeptynski P. (2022). Closed-form analytical solution to the problem of bending of a multilayer composite beam – Derivation and verification, Composite Structures. 291, 115611.
9. Timoshenko S., Woinowsky-Krieger. (1959). Theory of Plates and Shells. New York Toronto London, 635.
10. Azizov T.N., Kovrov A.V., Pereiras R. (2024). Do pytannia skincheno-elementnoho modeliuвання pry rozrakhunku zalizobetonnykh plyt. Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy.– Rivne: Nats. un-t vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya, 45, 85-95.
11. Bidakov A.M. (2020). Metodolohiia rozrakhunku panelei z poperechnoi kleienoi derevyny ta yikh vuzliv. Dis. dokt.tekhn. nauk. Kharkiv, 349.
12. DBN V.2.6-161:2017. (2017). Dereviani konstruksii. Osnovni polozhennia. Kyiv, 111.
13. Rzhanytsin A.R. (1986). Sostavnyie sterzhni i plastinki, 315.

Література

1. Aicher S. (1987). Bemessung biegebeanspruchter Sandwichbalken mit dem modifizierten γ -Verfahren In: Bautechnik, 03, 79-86.
2. Azizov T. (2022). Determination of Bending and Torque moments in Orthotropic Plate

as in a Crossbeam System, Sciences of Europe, 1 87, 61-63.

3. Azizov T., Kochkarev D. (2023). Limits of Using the Theory of Plates in the Calculation of Reinforced Concrete Slabs, Sciences of Europe, 111, 28-32.

4. Blass H., Fellmoser P. (2004). Design of solid wood panels with cross layers. Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering (Lahti, Finland), 1001-1006.

5. Blass H.J., Görlacher R. (2000). Rolling shear in structural bonded timber elements. Proc. Int. Conf. on Wood and Wood fiber Composites. Stuttgart, Germany, 327-337.

6. Moosbrugger T., Neumüller F., Neumüller A. (2017). Schwinden und Quellen von orthogonal verklebten Holzprodukten – Teil 1: Globales Schwindverhalten von Blockbohlen und Brettsperthölzern. In: Holztechnologie, 58, 5, IHD, Dresden.

7. EN 1995-1-1:2008: Eurocode 5: (2008). Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium.

8. Szeptynski P. (2022). Closed-form analytical solution to the problem of bending of a multilayer composite beam – Derivation and verification, Composite Structures. 291, 115611.

9. Timoshenko S., Woinowsky-Krieger (1959). Theory of Plates and Shells. New York Toronto London, 635.

10. Азізов Т.Н., Ковров А.В., Перейрас Р. (2024). До питання скінчено-елементного моделювання при розрахунку залізобетонних плит. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: Нац. ун-т водного господарства і природокористування, 45, 85-95.

11. Бідаков А.М. (2020). Методологія розрахунку панелей з поперечної клеєної деревини та їх вузлів. Дис. докт. техн. наук. Харків, 349.

12. ДБН В.2.6-161:2017. (2017). Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ, 111.

13. Ржаницин О.Р. (1986). Складені стрижні і пластинки, 315.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 05.11.2025	Received 05.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 17.11.2025	Received in revised form 17.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

T.N. Azizov

Doctor of Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9621-9805>

Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrichson St., 4, Odesa, Ukraine, 65029

D.V. Kochkarev

Doctor of Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4525-7315>

Department of Urban Construction and Economy

National University of Water and Environmental Engineering, Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028

O. F. Maistrenko*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2941-4149>

Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrichson St., 4, Odesa, Ukraine, 65029

*corresponding author, e-mail: maystrenkoof@gmail.com

Calculation of multilayer wood panels using the theory of composite rods

How to Cite:

Azizov, T. N., Kochkarev, D.V., Maistrenko, O. F. (2025). Calculation of multilayer wood panels using the theory of composite rods. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 5-19. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-01)

Abstract. The article proposes a method for calculating CLT panels using the theory of composite rods and rod approximation. It is shown that, unlike existing approaches, the panel operation is considered in two directions, and not as a beam system. First, the stiffness characteristics of the panel are determined in each direction, taking into account the shear. Then the plate is calculated as an orthotropic plate with different stiffness characteristics in mutually perpendicular directions. In this case, such a calculation is performed either as an orthotropic solid plate or as a cross-rod system. The theory of composite rods was used to determine the stiffness characteristics in each direction, taking into account the shear of the boards in the transverse direction. Taking into account the boundary conditions, the system of differential equations is reduced to a system of algebraic equations by expanding the unknowns and the external load into Fourier series. It is shown that taking into account the shear of the transverse boards significantly affects the final result of the maximum displacements in the middle of the span of the CLT panel. Calculation according to the theory of composite rods with proposals for the use of Fourier series for solving a system of differential equations allows us to determine the stiffness characteristics in two mutually perpendicular directions of the CLT panel. It is shown that the advantage of using the theory of composite rods is that it can be used to calculate panels with any number of layers. In addition, the theory of composite rods allows us to take into account different stiffnesses in the joints between the composite rods, different thicknesses of boards in the layers of the CLT panel. The article shows that today CLT panels are calculated according to the beam theory, although the floor panel works in two directions and its work differs from the beam one. The use of the rod approximation proposed by the authors of this article for calculating the CLT panels allows us to calculate them taking into account the work in two directions. The rod approximation allows solving the problem of correct modeling of the slab and eliminating the complexity of taking into account the different thickness of the slab in two directions.

Keywords: CLT panel, roller shear, rod approximation, composite rods, wooden structures, Fourier series.

УДК 69.059.3/7/25/35:699.852:727.1

А. Г. Азізова

аспірантка, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6282-5260>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка, 24, Полтава, Україна, 36011

М. В. Пенц

аспірантка, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8974-8557>

Кафедра будівельних конструкцій Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка, 24, Полтава, Україна, 36011

Д. М. Овсій*

Ph.D, старший викладач, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7007-1857>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка, 24, Полтава, Україна, 36011

А. В. Гасенко

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1045-8077>

Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка, 24, Полтава, Україна, 36011

*автор-кореспондент, e-mail: mr.ovseey@ukr.net

Конструктивні рішення з відновлення вбудованих приміщень споруд подвійного призначення в будівлях закладів освіти із стіновою конструктивною системою

Цитувати як:

Азізова, А. Г., Пенц, М. В., Овсій, Д. М., Гасенко, А. В. (2025). Конструктивні рішення з відновлення вбудованих приміщень споруд подвійного призначення в будівлях закладів освіти із стіновою конструктивною системою. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 20-39. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-02](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-02)

© 2025, Азізова А.Г., Пенц М.В., Овсій Д.М., Гасенко А.В.

У статті наведено результати узагальнення конструктивних рішень з відновлення вбудованих приміщень підземних споруд подвійного призначення в існуючих будівлях закладів освіти із стіновою конструктивною несучою системою. Запропоновано класифікацію конструктивних рішень залежно від напрямків проведення будівельних та ремонтних робіт з відновлення вбудованих приміщень підземної споруди подвійного призначення в існуючих будівлях закладів освіти та залежно від наявності чи відсутності в них підвальних приміщень. При класифікації

конструктивних рішень були враховані варіанти випадків безкаркасної (стінової) конструктивної системи існуючих будівель закладів освіти з розташуванням несучих стін у поздовжньому напрямку. Здійснено узагальнення варіантів основних конструктивних рішень з підсилення елементів стін і перекриттів в існуючих будівлях на рівні підвального поверху або технічного підпілля. Представлено загальну класифікацію варіантів способів підсилення чи відновлення стовтів, простінків та ділянок стін будівлі з кам'яної кладки шляхом нарощування перерізів в їх площині та/або на позаплощинних їх ділянках додатковими конструктивними елементами. Також наведено загальну класифікацію варіантів способів підсилення чи відновлення залізобетонних балкових конструктивних елементів шляхом нарощування їх перерізів. Розроблені в статті загальні напрямки конструктивних рішень з відновлення вбудованих приміщень споруд подвійного призначення в існуючих будівлях закладів освіти залежно від необхідних вимог евакуації та випадку їх конструктивної несучої системи дозволять здійснювати їх проектування з відповідними заходами щодо підсилення їх основних несучих конструктивних елементів стін і перекриття на рівні підвального поверху.

Ключові слова: вбудовані підземні захисні споруди подвійного призначення, будівлі закладів освіти, улаштування, відновлення.

Вступ

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. Забезпечення перебування людей в будівлях і спорудах при виникненні зовнішньої загрози здійснюється шляхом улаштування в їх приміщеннях чи поблизу них вбудованих, прибудованих або окремо розташованих захисних споруд цивільного захисту (ЗС) чи споруд подвійного призначення (СПП). Улаштування приміщень ЗС і СПП в першу чергу необхідно здійснити в існуючих будівлях і спорудах з одночасним (постійним та тимчасовим) перебуванням максимальної кількості осіб, до яких відносяться будівлі закладів освіти, згідно яких відповідно пп.6.13-6.16 норм [1] при проектуванні висуваються додаткові вимоги щодо 100% укриття учасників освітнього процесу та інших працівників закладу.

Забезпечення швидкої і безпечної евакуації (переміщення) людей у часі з приміщень будівлі в приміщення захисної споруди при виникненні зовнішньої загрози здійснюється за допомогою евакуаційних шляхів, на які безпосередньо впливають існуючі об'ємно-планувальні та конструктивні рішення будівлі та місце розташування приміщень захисної споруди чи СПП відносно її забудови. В роботі [2] були виділені та проаналізовані три можливі типові моделі евакуаційних шляхів залежно від об'ємно-конструктивного вирішення існуючої багатоповерхової будівлі та типу захисної споруди цивільного захисту. В результаті аналізу встановлено, що найбільш ефективною моделлю евакуаційного шляху при вимушеній евакуації людей є модель руху з приміщення існуючої будівлі в приміщення вбудованої чи прибудованої ЗС або СПП (дивись рис. 1, в у порівнянні з

рис. 1, а і рис. 1, б), так як вона забезпечує переміщення особи з мінімальною кількістю перепон на шляху за мінімальний термін часу [2].

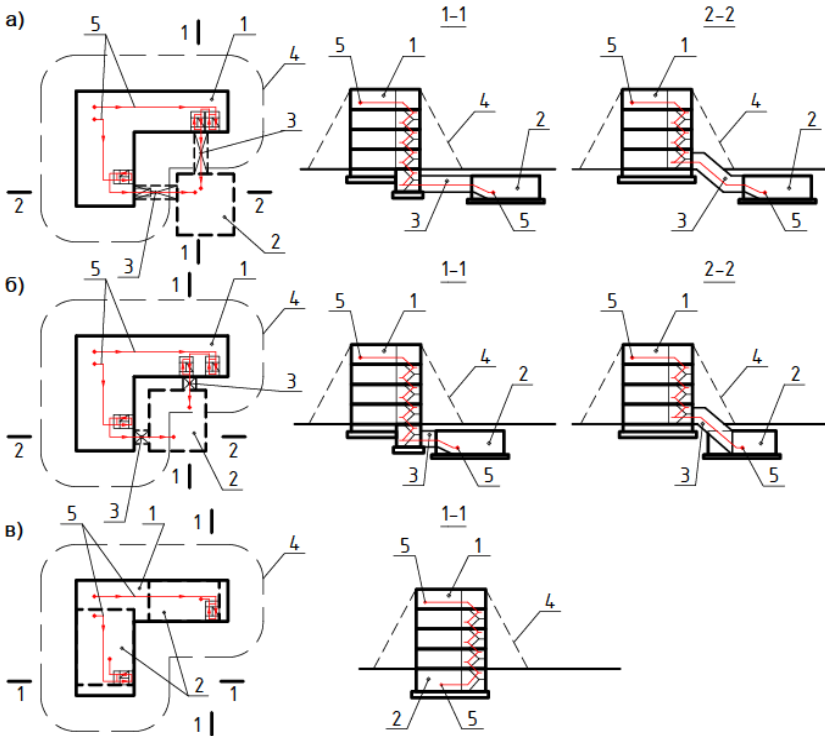


Рис. 1. Основні типи моделей евакуаційних шляхів залежно від місця розташування ЗС чи СПП по відношенню до місця забудови існуючої багатоповерхової будівлі [2]: а) розташування ЗС окремо, поза межами зони можливого обвалення конструкцій (елементів) існуючої будівлі; б) розташування ЗС окремо, як прибудованої споруди до існуючої будівлі; в) розташування ЗС (СПП) у в межах ділянки забудови існуючої будівлі (в підвальному приміщенні): 1 – існуюча будівля; 2 – захисна споруда (ЗС) або споруда подвійного призначення (СПП); 3 - підземний перехід між будівлею та ЗС (СПП); 4 – межа зони можливого обвалення конструкцій (елементів) існуючої будівлі при її руйнуванні; 5 – напрямок евакуаційного шляху із приміщення будівлі в приміщення ЗС чи СПП.

Вбудовані і прибудовані ЗС і СПП, згідно пп.6.1, 6.2 норм [1], повинні проектуватися у підземних, цокольних та підвальних поверхах. Улаштування вбудованих приміщень СПП в існуючих будівлях закладів

освіти потребує проведення будівельних і ремонтних робіт з їх реконструкції, модернізації, відновлення, об'єми яких безпосередньо залежать від визначених факторів, а саме: наявності підвальної частини чи технічного підпілля; наявності проходів з прорізами у стінах та сходових клітин з визначеними необхідними конструктивними розмірами елементів; рішення конструктивної несучої системи; рішень конструктивних елементів стін (бутова чи цегляна кладка; кладка із збірних бетонних блоків; монолітного залізобетону; комбіновані рішення) і перекриття (із збірних залізобетонних ребристих, плоских плит чи плит з круглими пустотами; із монолітного залізобетонного балкового чи безбалкового перекриття; із збірно-монолітного сталезалізобетонного чи залізобетонного перекриття з комбінованими рішеннями), їх номінальних розмірів. Наявні конструктивні елементи стін і перекриття підвальних приміщень чи технічного підпілля залежно від призначення приміщення на рівні I-го поверху, поверховості та місця розташування існуючих будівель закладів освіти були запроектовані на: корисні нормативні навантаження на перекриття $p=2\ldots 5$ кПа ($200\ldots 500$ кгс/м²); сумарні розрахункові навантаження – $q+p=6\ldots 12$ кПа ($600\ldots 1200$ кгс/м²); нормативне навантаження від ваги снігового покриву залежно від району будівництва – $s=0,5\ldots 1,0$ кПа і мають недостатню несучу здатність, яка б задовольняла мінімальні вимоги щодо розрахунку несучих і огорожувальних конструкцій вбудованих захисних споруд чи СПП із захисними властивостями класу А-IV згідно п.14 і додатку А норм [1], для яких мінімальна величина розрахункового надмірного тиску становить $\Delta P_{ex}=100$ кПа.

Тому, виходячи з вище викладеного, виникає потреба в розробці конструктивних рішень з відновлення вбудованих приміщень подвійного призначення в існуючих будівлях закладів освіти, які б враховали вище перераховані фактори та відповідали сучасним вимогам діючих норм. Розробка конструктивних рішень неможлива без удосконалення методик проектування конструктивних елементів з підсилення стін і перекриттів будівель при облаштуванні в них СПП.

Мета і завдання дослідження. Проведення аналізу і узагальнення конструктивних рішень з відновлення вбудованих приміщень споруд подвійного призначення в існуючих будівлях закладів освіти із стіновою конструктивною несучою системою та розробка класифікацій варіантів з відновлення і підсилення їх несучих конструктивних елементів стін і перекриттів.

Матеріали та методи

У роботі використано метод порівняльного аналізу об'ємно-планувальних та конструктивних проектних рішень існуючих багатопверхових будівель закладів освіти з безкаркасною конструктивною системою з розташуванням несучих стін у поздовжньому напрямку, а також конструктивних рішень варіантів і способів відновлення і підсилення їх основних несучих конструкцій на рівні підвальної частини при улаштуванні вбудованих приміщень споруд подвійного призначення.

Результати та обговорення

При відновленні (реконструкції, ревіталізації, модернізації, ремонті) підвальних приміщень існуючих будівель закладів освіти під приміщення споруд подвійного призначення для захисту людей необхідно виконати у кожному випадку комплекс організаційних заходів, проектних і будівельно-монтажних робіт, об'єм і перелік яких залежить від об'ємно-планувальних і конструктивних рішень існуючої будівлі закладу освіти та технічного стану її основних несучих конструктивних елементів стін, перекриттів, покриття, особливо на ділянці проектування приміщень укриття в межах її забудови. Крім того, для виконання положень діючих норм [1, п.8.2.3], [3, п.1] та рекомендацій [4] при проектуванні, будівництві і реконструкції вбудованих приміщень СПП необхідно враховувати необхідність улаштування додаткових конструктивних вставок у вигляді сходової клітини, вертикального підйомача між підвалом і першим поверхом (поверхами) чи ліфтової шахти.

У результаті порівняльного аналізу об'ємно-планувальних і конструктивних рішень існуючих шкільних будівель із безкаркасною конструктивною системою, в якій несучі стіни розташовані у поздовжньому напрямку, були виділені основні найбільш поширені їх випадки з номінальними розмірами. Існуючі 2-х...4-х поверхові шкільні будівлі в різні роки будувалися за різними типовими проектами (ТП) будівель для загальноосвітніх шкіл на 200...300, 400, 600...700, 800...1000 і більше учнів. Аналіз типових проектів (ТП 25, ТП 27, ТП 28, ТП 260, ТП 2-02-01, ТП 2-02-02, ТП 2-02-03, ТП 2-02-05, ТП 2-02-07, ТП 2-02-08, ТП 2-02-17, ТП 2-02-19, ТП 2-02-20, ТП 2-02-23, ТП 2-02-26 (496/1 с), ТП 2-02-27, ТП 2-02-40, ТП 2-02-73, ТП 2-02-93/8, ТП 2-02-333, ТП 2-02-520/11, ТП 28-02-01, ТП 2Р-02-1/64, ТП 2Р-02-4, ТП 2Р-02-9, ТП 2С-02-11п (варіант 2), ТП 2С-02-13В (варіант 2), ТП 2С-02-14п (варіант 2), ТП 2С-02-16в (варіант 2), [5] та ін.) існуючих будівель загальноосвітніх шкіл, які були побудовані в містах України з 1946 по 1970 роки, дозволив виділити найбільш поширені конструктивні системи (схеми) блокових частин шкільних будівель:

- двопрогінна конструктивна система блоку будівлі з розмірами прольотів в осях: перший проліт – $L \leq 6,0 \dots 6,4$ м; другий

проліт - $L \geq 6,0 \dots 6,4$ м, в окремих випадках (зальні приміщення) розміри прольоту становлять $L = 7,0 \dots 7,5$ м; 9,0; 12,0 м;

- двопрогінна конструктивна система блоку будівлі з розмірами прольотів в осях: перший проліт (учбові приміщення) – $L \leq 6,0 \dots 6,4$ м; другий проліт (коридор) - $L \leq 2,8 \dots 3,2$ м;
- трипрогінна (коридорна) конструктивна система блоку будівлі з розмірами прольотів в осях: крайні прольоти (учбові приміщення) – $L \leq 6,0 \dots 6,4$ м; середній проліт (коридор) - $L \leq 2,8 \dots 3,2$ м, в окремих випадках розміри прольоту в осях становлять $L \leq 4,5 \dots 5,5$ м;
- однопрогінна конструктивна система блоку будівлі (зальні приміщення) з розмірами прольоту в осях $L = 9,0 \dots 9,6$; 12,0 м.

Аналіз типових проектів (ТП 224-1-88, ТП 224-1-91, ТП 224-1-96, ТП 225-1-112 с, ТП 224-1-114, ТП 224-1-117, ТП 224-1-117/77, ТП 224-1-314, ТП 224-1-431.85, ТП 224-1-454.85, ТП 224-1-456.85 та ін.) існуючих будівель загальноосвітніх шкіл, які були побудовані в містах України з 1970 по 1990 роки, дозволив виділити найбільш поширені конструктивні системи (схеми) блокових частин будівель:

- двопрогінна конструктивна система блоку будівлі з розмірами прольотів в осях: перший проліт – $L \leq 6,0 \dots 6,4$ м; другий проліт - $L \geq 6,0 \dots 6,4$ м;
- двопрогінна конструктивна система блоку будівлі з розмірами прольотів в осях: перший проліт – $L = 7,2 \dots 9,0$ м; другий проліт – $L = 7,2 \dots 9,0$ м;
- трипрогінна (коридорна), конструктивна система блоку будівлі з розмірами прольотів в осях: один проліт – $L \leq 6,0 \dots 6,4$ м; другий проліт – $L = 6 \dots 6,4$; 7,2; 9,0; 12,0 м; третій (середній або крайній) – $L = 3,0 \dots 3,6$ м;
- в окремих випадках – чотирипрогінна конструктивна система блоку будівлі з розмірами прольотів в осях: один із крайніх прольотів і середні – $L \leq 6,0 \dots 6,4$ м; другий крайній проліт - $L \leq 7,2$; 9,0; 12,0 м;
- однопрогінна конструктивна система блоку будівлі або на окремих його ділянках з розмірами прольоту в осях $L = 6,3$; 7,2; 7,8; 9,0; 12,0 м.

Використовуючи основи типологічного аналізу в архітектурі та містобудуванні, які викладені у роботах [6, 7], було проведено узагальнення результатів порівняльного аналізу, що дозволило виділити варіанти найбільш поширених об'ємно-конструктивних рішень існуючих двох-чотириповерхових шкільних будівель чи їх окремих блоків (частин) з безкаркасною конструктивною системою з поздовжніми несучими стінами (дивись таблицю 1): варіанти А1-А6 – будівлі з підвальними приміщеннями; варіанти Б1-Б6 – будівлі з технічним поверхом чи без підвалу.

Таблиця 1. Варіанти найбільш поширених об'ємно-конструктивних рішень існуючих двох-чотириповерхових будівель закладів освіти чи їх окремих частин (блоків) з безкаркасною (стіною) конструктивною системою з поздовжніми несучими стінами

Варіант рішення	Наявність підвальної частини	Кількість (n) та розміри прогонів конструктивної несучої системи в осях:			
		п	А-Б	Б-В	В-Г
A1	Наявність підвальної частини, при $H_d \geq H_n$	2	$l > 6 \dots 7$ м	$l \leq 6 \dots 7$ м	-
A2		2	$l \leq 6 \dots 7$ м	$l \leq 6 \dots 7$ м	-
A3		2	$l \leq 6 \dots 7$ м	$l \leq 2,8 \dots 4$ м	-
A4		2	$l > 6 \dots 7$ м	$l > 6 \dots 7$ м	-
A5		3	$l \leq 6 \dots 7$ м	$l \leq 2,8 \dots 5,6$ м	$l \leq 6 \dots 7$ м
A6		3	$l > 6 \dots 7$ м	$l \leq 2,8 \dots 5,6$ м	$l \leq 6 \dots 7$ м
B1	Технічне підпілля при $H_d < H_n$, або його відсутність	2	$l > 6$ м	$l \leq 6$ м	-
B2		2	$l \leq 6$ м	$l \leq 6$ м	-
B3		2	$l \leq 6 \dots 7$ м	$l \leq 3 \dots 4$ м	-
B4		2	$l > 6 \dots 7$ м	$l > 6 \dots 7$ м	-
B5		3	$l \leq 6$ м	$l \leq 3 \dots 4$ м	$l \leq 6$ м
B6		3	$l > 6$ м	$l \leq 3 \dots 4$ м	$l \leq 6$ м

Примітки:

H_d – висота заглиблення підвального поверху між верхньою площиною підлоги на рівні I-го поверху і нижньою площиною підшови фундаментів;

H_n – висота вбудованої захисної підземної споруди подвійного призначення: сума внутрішньої висоти приміщення ($H_b \geq 2,5$ м) і товщини перекриття ($h_{np} \geq 330$ мм): $H_b + h_{np} \geq 2,82$ м – згідно вимог п.7.1.5 і п.14.2.3.4 діючих норм [1]

На прийняття рішення з відновлення вбудованих приміщень споруди подвійного призначення в будівлях закладів освіти значний вплив будуть мати величина фінансових витрат та термін проведення відновлювальних робіт, об'єми яких будуть напряму залежати від прийнятого конструктивного рішення з улаштування СПП.

Варіанти об'ємно-конструктивних рішень будівель закладів освіти з урахуванням напрямку проведення робіт при відновленні в них приміщень СПП, залежно від наявності підвальних приміщень, наведені в таблиці 2.

Один із варіантів улаштування підземного вбудованого приміщення споруди подвійного призначення в існуючій будівлі закладу освіти з підвалом (при $H_d > H_n$) наведено на рис. 2 і рис. 3. Конструктивне рішення з відновлення приміщень СПП на рис. 2 і рис. 3 відповідає варіанту Аp1 об'ємно-конструктивного рішення будівлі з двопрогінною безкаркасною конструктивною системою і підвалом (дивись таблицю 2).

Таблиця 2. Варіанти об'ємно-конструктивних рішень існуючих двох-чотириповерхових будівель закладів освіти чи їх окремих частин (блоків) з безкаркасною (стіновою) конструктивною системою при проведенні будівельних та ремонтних робіт з відновлення вбудованих приміщень СПП залежно від наявності чи відсутності підвальної частини

Напрямок проведення будівельних та ремонтних робіт з відновлення вбудованих приміщень споруди подвійного призначення (СПП) в існуючих будівлях закладів освіти	Варіанти констр. рішень будівель з урахуванням проведення робіт
Будівельні роботи з відновлення вбудованих приміщень СПП, які здійснюються при проведенні будівельних та ремонтних робіт з реконструкції (модернізації, реновації) будівлі з підвалом, коли $H_d \geq H_{п.}$	Ар1, Ар2, Ар3, Ар4, Ар5, Ар6
Будівельні роботи з відновлення вбудованих приміщень СПП, які здійснюються при проведенні будівельних та ремонтних робіт з реконструкції (модернізації, реновації) будівлі без підвал чи з технічним поверхом, коли $H_d < H_{п.}$	Бр1, Бр2, Бр3, Бр4, Бр-5, Бр-6

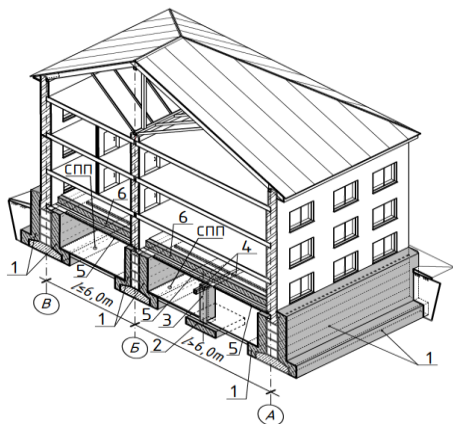


Рис. 2. Улаштування приміщень СПП в триповерховій будівлі з двопрогінною безкаркасною конструктивною системою з розмірами прогонів в осях А-Б - $l > 6...7$ м; в осях Б-В - $l \leq 6...7$ м (варіант Ар1); позначення 1-6 відповідають позначенням на рисунку 3

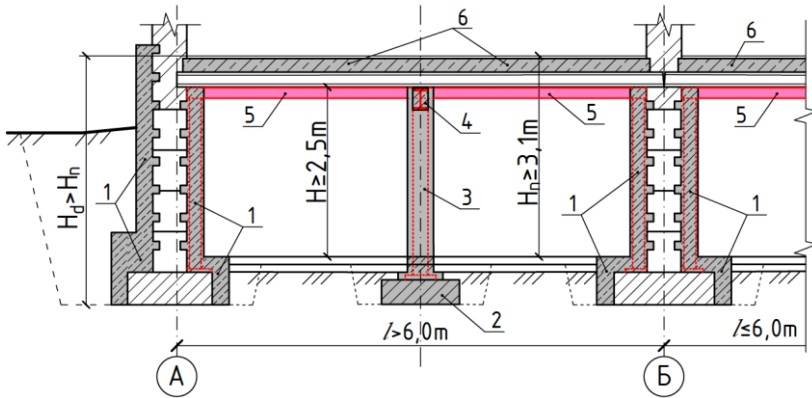


Рис. 3. Улаштування підземного вбудованого підвального приміщення СПП в існуючій будівлі закладу освіти з підвалом (при $H_d > H_n$), варіант Ар1: 1 – двостороннє підсилення стін та фундаментів шляхом нарощування їх перерізів додатковими вертикальними монолітними залізобетонними чи сталезалізобетонними шарами; 2 – улаштування окремих фундаментів під стійки (колони) додаткового несучого каркасу у поздовжньому напрямку будівлі; 3 – улаштування стійки (колони) додаткового несучого каркасу на середині прогону в осях А-Б приміщення; 4 - улаштування монолітного сталезалізобетонного прогону додаткового несучого каркасу; 5 і 6 – підсилення збірних плит перекриття підвалу одночасно шляхом підведення знизу сталевих балок (5) та зверху - шляхом нарощування перерізів монолітним залізобетонним шаром (6) на рівні верхньої грані в стиснутій їх зоні.

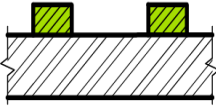
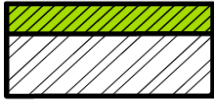
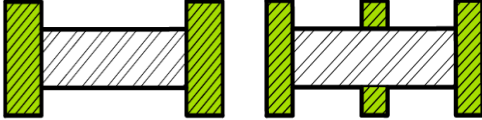
Перелік основних будівельних робіт при улаштуванні вбудованих підземних приміщень СПП в існуючих будівлях закладів освіти з підвалом та без підвалу приведено нижче в таблиці 3.

Відповідно до положень пп. 7.4.8-7.4.15 норм [8] було проведене узагальнення випадків та розроблена класифікація варіантів способів підсилення чи відновлення стовпів, простінків та ділянок стін із кам'яної кладки шляхом одностороннього чи двостороннього нарощування перерізів в їх площині та/або на позаплощинних їх ділянках додатковими конструктивними елементами у вигляді стрічкових залізобетонних чи сталезалізобетонних (комплексних) вертикальних шарів, ребер, стовпів, напівколон, пілястр, контрфорсів, яка приведена в таблиці 4.

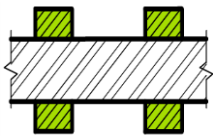
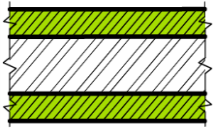
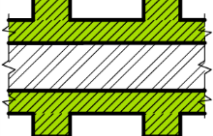
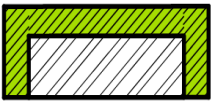
Таблиця 3. Перелік будівельних робіт при відновленні вбудованих приміщень СПП в існуючих будівлях закладів освіти зі стіновою конструктивною схемою при наявності підвалу чи без нього

Перелік будівельних робіт при улаштуванні вбудованих підземних приміщень СПП в існуючих будівлях закладів освіти	Варіант рішення	
	з підвалом	без підвалу
1. Вертикальне закріплення ґрунтів нижче рівня підосви існуючих фундаментів будівлі.	-	+
2. Улаштування виїмки нижче рівня підосви існуючих фундаментів будівлі.	за необ-хідності	+
3. Улаштування монолітної залізобетонної фундаментної плити вбудованої СПП нижче рівня відмітки підосви існуючого фундаменту.	-	+
4. Улаштування вертикальних монолітних залізобетонних чи сталезалізобетонних стін вбудованої підземної СПП нижче рівня відмітки підосви існуючого фундаменту.	-	+
5. Улаштування окремих фундаментів під стійки додаткового несучого каркасу.	+	-
6. Улаштування сталезалізобетонних пілонів чи стовпів та ригелів додаткового несучого каркасу на середині прогону (прольоту) приміщення при розмірі між осями несучих стін $l > 6$ м.	+	+
7. Улаштування одностороннього внутрішнього підсилення несучих стін та фундаментів шляхом нарощування їх перерізів додатковими вертикальними монолітними залізобетонними чи сталезалізобетонними шарами.	+	+
8. Улаштування підсилення зовнішніх стін із зовнішньої сторони або улаштування захисного протидинамічного екрану із пальового фундаменту з ростверком.	+	+
9. Улаштування підсилення перерізів елементів перекриття підвалу шляхом нарощування їх перерізів: нарощуванням зверху елементів додатковим монолітним залізобетонним шаром; шляхом підведення знизу додаткових сталевих балок з підкосами і без них чи за допомогою шпренгельних затяжок, або встановлення опори.	+	+

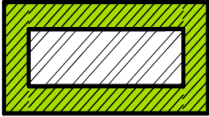
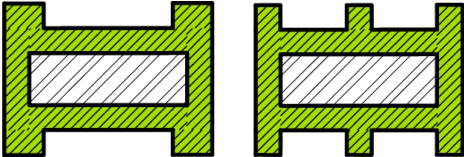
Таблиця 4. Класифікація варіантів способів підсилення чи відновлення стовпів, простінків та ділянок стін із кам'яної кладки шляхом нарощування перерізів в їх площині та/або на позাপлощинних їх ділянках додатковими конструктивними елементами у вигляді стрічкових залізобетонних чи сталезалізобетонних (комплексних) вертикальних шарів, ребер, стовпів, напівколон, пілястр, контрфорсів

Спосіб додаткового підсилення перерізів вертикального конструктивного елементу стін	Варіанти розташування додаткових елементів підсилення по відношенню до перерізу конструктивного елементу стін	
	Варіант способу підсилення перерізів елементу	Загальна схема перерізу у плані
1. Одностороннє підсилення перерізів конструктивного елементу стін на позাপлощинній його ділянці	1.1. Окремими вертикальними елементами у вигляді пілястр, контрфорсів, додаткових ребер з визначеним кроком з одного боку по всій довжині елементу	
	1.2. Додатковим повздовжнім шаром з одного боку по всій довжині елементу	
	1.3. Додатковим повздовжнім шаром з виступами у вигляді додаткових ребер, пілястр, контрфорсів з одного боку по всій довжині елементу	
2. Двостороннє підсилення перерізів конструктивного елементу в площині стін	2.1. Окремими вертикальними додатковими елементами з двох боків у вигляді додаткових ділянок (стояків, напівколон) в межах поздовжніх бокових площин елементу	
	2.2. Окремими вертикальними елементами з двох боків у вигляді додаткових вертикальних ділянок з виступами поза межами поздовжніх бокових площин елементу, що підсилюється, які улаштовуються у вигляді пілястр, контрфорсів, стояків, напівколон, додаткових вертикальних ребер, з визначеним кроком по його довжині	

Таблиця 4. Класифікація варіантів способів підсилення чи відновлення стовпів, простінків та ділянок стін із кам'яної кладки шляхом нарощування перерізів в їх площині та/або на позаплощинних їх ділянках додатковими конструктивними елементами у вигляді стрічкових залізобетонних чи сталезалізобетонних (комплексних) вертикальних шарів, ребер, стовпів, напівколон, пілястр, контрфорсів (продовження)

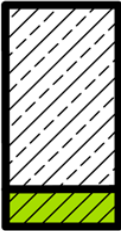
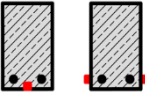
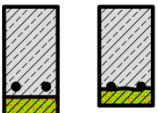
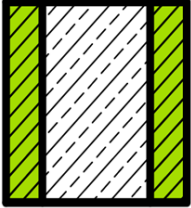
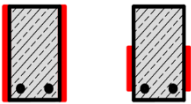
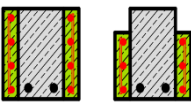
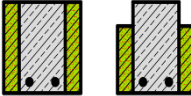
Спосіб додаткового підсилення перерізів вертикального конструктивного елементу стін	Варіанти розташування додаткових елементів підсилення по відношенню до перерізу конструктивного елементу стін	
	Варіант способу підсилення перерізів елементу	Загальна схема перерізу у плані
3. Двостороннє підсилення перерізів конструктивного елементу стін на позаплощинних їх ділянках	3.1. Окремими вертикальними елементами у вигляді пілястр, контрфорсів, додаткових ребер з визначеним кроком з двох боків по всій довжині елементу	
	3.2. Додатковими повздовжніми шарами з двох боків по всій довжині елементу	
	3.3. Додатковими повздовжніми шарами з виступами у вигляді додаткових ребер, стояків, пілястр, контрфорсів з двох боків по всій довжині елементу	
4. Трестороннє підсилення перерізів конструктивного елементу в площині стін та на позаплощинних їх ділянках	4.1. Додатковими повздовжнім шаром з одного боку по всій довжині позаплощинної ділянки елементу та вертикальними елементами з двох боків у площині стіни	
	4.2. Додатковими повздовжнім шаром з одного боку по всій довжині позаплощинної ділянки елементу та вертикальними елементами з двох боків у площині стіни з додатковими виступами у вигляді додаткових ребер, стояків, напівколон, пілястр, контрфорсів з одного боку з визначеним кроком по всій довжині елементу	

Таблиця 4. Класифікація варіантів способів підсилення чи відновлення стовпів, простінків і ділянок стін із кам'яної кладки шляхом нарощування перерізів в їх площині та/або на позাপлощинних їх ділянках додатковими конструктивними елементами у вигляді стрічкових залізобетонних чи сталезалізобетонних (комплексних) вертикальних шарів, ребер, стовпів, напівколон, пілястр, контрфорсів (закінчення)

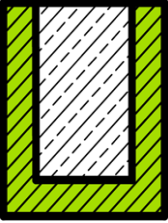
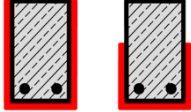
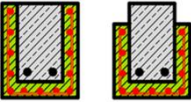
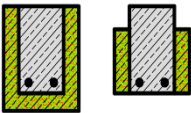
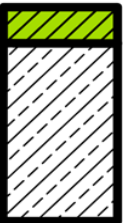
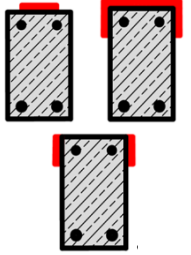
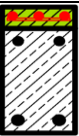
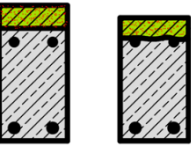
Спосіб додаткового підсилення перерізів вертикального конструктивного елемента стін	Варіанти розташування додаткових елементів підсилення по відношенню до перерізу конструктивного елемента стін	
	Варіант способу підсилення перерізів елемента	Загальна схема перерізу у плані
5. Чотиристороннє підсилення перерізів конструктивного елемента стін у площині та на позাপлощинних їх ділянках	5.1. Додатковими вертикальними повздовжніми шарами по периметру з чотирьох боків елемента	
	5.2. Додатковими вертикальними повздовжніми шарами по периметру з чотирьох боків елемента з виступами у вигляді додаткових ребер, стояків, напівколон, пілястр, контрфорсів з двох боків з визначеним кроком по всій довжині елемента, що підсилюється	

Відповідно до положень пп. 6.3, 6.4.1, 6.4.2 норм [8] було проведене узагальнення випадків та розроблена класифікація варіантів способів підсилення чи відновлення балкових і плитних залізобетонних прогонних конструктивних елементів перекриттів будівель і споруд шляхом нарощування їх перерізів, яка наведена в таблиці 5. Нарощування перерізів балкових і плитних елементів може здійснюватися тільки збоку верхньої грані (стисненої зони перерізу); тільки збоку нижньої грані (розтягнутої зони перерізу); тільки збоку бічних граней перерізу; одночасно збоку трьох граней перерізу: нижньої і двох бічних; одночасно відносно верхньої і нижньої граней перерізу (в стиснутій і розтягнутій зонах). При нарощуванні перерізів конструкцій, крім традиційних конструктивних елементів із сталевих прокатів і монолітного бетону, можуть використовуватися матеріали із скловолокна: арматурні стержні і полоси із тканини та додаткові шари із фібробетону, розчину та ін.

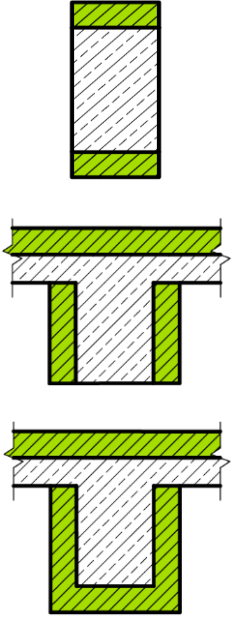
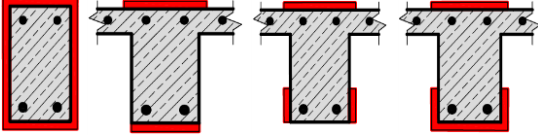
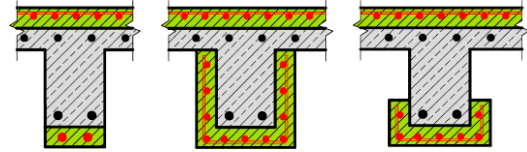
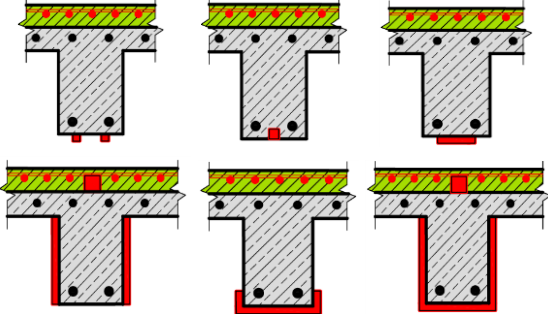
Таблиця 5. Класифікація варіантів способів підсилення чи відновлення балкових і плитних залізобетонних прогонних конструктивних елементів перекриттів будівель і споруд шляхом нарощування їх перерізів

Спосіб додаткового підсилення перерізів конструктивного елементу та їх загальна схема	Варіанти розташування додаткових елементів підсилення по відношенню до перерізу балкового чи плитного залізобетонного конструктивного елементу	
	Варіант способу підсилення перерізів елементу	Загальна схема перерізу
1. Знизу нижньої розтягнутої зони перерізу елементу 	1.1. Додатковими повздовжніми арматурними стержнями в рівні висоти перерізу балки	
	1.2. Додатковими повздовжніми арматурними стержнями знизу перерізу балки	
	1.3. Додатковим повздовжнім металевим елементом з прокату чи іншого складеного перерізу знизу балки	
	1.4. Додатковим залізобетонним шаром знизу перерізу балки (армування окремими арматурними стержнями чи сітками)	
	1.5. Додатковим шаром фібробетону чи іншого матеріалу або неармованого розчину знизу балки чи на рівні перерізу балки	
2. З двох боків чи з одного боку перерізу елементу 	2.1. Додатковими повздовжніми металевими елементами із прокату чи іншого складеного перерізу частково знизу чи на всю висоту перерізів	
	2.2. Додатковим залізобетонним шаром по довжині перерізів частково знизу чи на всю їх висоту	
	2.3. Додатковим шаром фібробетону чи іншого матеріалу або неармованого розчину частково знизу чи на всю висоту перерізів	

Таблиця 5. Класифікація варіантів підсилення чи відновлення балкових і плитних залізобетонних прогонних конструктивних елементів перекриттів будівель і споруд шляхом нарощування їх перерізів (продовження)

Спосіб додаткового підсилення перерізів конструктивного елементу та їх загальна схема	Варіанти розташування додаткових елементів підсилення по відношенню до перерізу балкового чи плитного залізобетонного конструктивного елементу	
	Варіант способу підсилення перерізів елементу	Загальна схема перерізу
3. Знизу та з двох боків перерізу елементу 	3.1. Додатковими повздовжніми металевими елементами із прокату чи іншого складеного перерізу знизу та з двох боків частково чи на всю висоту перерізу	
	3.2. Додатковим залізобетонним шаром по довжині перерізів знизу та частково чи на всю їх висоту	
	3.3. Додатковим шаром фібробетону чи іншого матеріалу або неармованого розчину знизу та частково чи на всю висоту перерізів	
4. Зверху перерізу елементу чи на рівні верхньої стисненої його частини 	4.1. Додатковими повздовжніми металевими елементами із прокату чи іншого складеного перерізу зверху чи зверху та з двох боків або тільки з двох боків на рівні верхньої стисненої частини перерізів, що підсилюються, частково на середині їх прогону чи на всю його довжину	
	4.2. Додатковим залізобетонним шаром зверху по довжині перерізів частково на середині їх прогону чи на всю його довжину	
	4.3. Додатковим шаром фібробетону чи іншого матеріалу або неармованого розчину зверху по довжині перерізів частково на середині їх прогону чи на всю довжину	

Таблиця 5. Класифікація варіантів підсилення чи відновлення балкових і плитних залізобетонних прогонних конструктивних елементів перекриттів будівель і споруд шляхом нарощування їх перерізів (закінчення)

Спосіб додаткового підсилення перерізів конструктивного елементу та їх загальна схема	Варіанти способу підсилення та загальні схеми розташування додаткових елементів чи шарів нарощування по відношенню до перерізів балкового чи плитного залізобетонного конструктивного елементу перекриття
5. Комбінований спосіб: - одночасно зверху та знизу перерізу елементу; - одночасно зверху та з двох боків перерізу елементу; - одночасно зверху, з двох боків та знизу перерізу елементу 	5.1. Додатковими повздовжніми металевими елементами із прокату чи іншого складеного перерізу знизу та з двох боків частково чи на всю висоту перерізу 
	5.2. Додатковим залізобетонним шаром по довжині перерізів: зверху і знизу; зверху, знизу і з двох боків частково чи на всю висоту бокових граней 
	5.3. Додатковим залізобетонним шаром зверху по всій довжині перерізів та додатковими повздовжніми металевими елементами із арматурного чи листового прокату чи іншого складеного перерізу знизу чи з двох боків на всю висоту бокових граней, або одночасно знизу та двох боків перерізів елементів, що підсилюються 

Запропоновані в роботі варіанти конструктивних рішень з відновлення вбудованих приміщень споруд подвійного призначення дозволять проектувальникам, дотримуючись вимог діючих норм [1, 3, 4], здійснювати економічно-обґрунтоване рішення при реконструкції будівель закладів освіти зі стіновою конструктивною системою залежно від необхідних вимог евакуації, номінальних об'ємно-конструктивних їх розмірів та технічного стану їх основних конструкцій (елементів) стін і перекриття на момент проведення робіт з їх відновлення.

Висновки

У результаті аналізу факторів впливу та узагальнення об'ємно-планувальних і конструктивних характеристик існуючих будівель закладів освіти з безкаркасною (стіновою) конструктивною схемою були розроблені варіанти конструктивних рішень із відновлення вбудованих підземних приміщень споруд подвійного призначення. Наведено перелік основних будівельних і ремонтних робіт з акцентом розробки конструктивних рішень для кожного можливого випадку відновлення вбудованих підземних приміщень споруд подвійного призначення у багатоповерхових будівлях закладів освіти. Представлено класифікації варіантів способів підсилення конструктивних елементів стін і залізобетонних перекриттів шляхом нарощування їх перерізів.

Подальші наукові дослідження будуть направлені на розробку конструктивних рішень із будівництва вбудованих приміщень підземних споруд подвійного призначення в будівлях закладів освіти зі стіновою конструктивною системою, в яких конструкції стін, перекриттів і покриття зазнали руйнування або мають значне фізичне зношення (аварійний та непридатний до нормальної експлуатації технічний стан) і потребують проведення будівельно-монтажних робіт по їх заміні.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Робота виконувалась у рамках наукової програми держбюджетної теми “Ресурсоощадні технології прискореного відновлення пошкоджених будівель із влаштуванням захисних споруд цивільного захисту” (шифр наукової роботи №109/25; державний реєстраційний номер: 0125U000895).

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1.DBN V.2.2-5:2023. (2023). *Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu. Zi Zminoiu №1* (Nakazy Ministerstva rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy vid 10.08.2023 №702 ta vid 10.10.2023 №921, chynnyi z 2023-11-01). Kyiv: Mininfrastruktury Ukrainy.

2.Ovsii, O. M., & Ovsii, D. M. (2025). Typovi modeli evakuatsiinykh shliakhiv zalezno vid obiemno-konstruktivnoho vyrishennia ta pryznachennia isnuuuchykh budivel ta typu zakhysnykh sporud tsyvilnoho zakhystu. *Tezy 77-i naukovoï konferentsii profesoriv, vykladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv universytetu* (Vol. 2, pp. 150–153). Poltava: Natsionalnyi universytet imeni Yurii Kondratiuka. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/18872>

3.DBN V.2.2-40:2018. (2022). *Inkliuzyvni budivel i sporud. Osnovni polozhennia. Zi Zminoiu №1*; (nakaz Minrehionu vid 30.11.2018 №327, zi zminamy vid 2021–2022 rr.). Kyiv: Minrehion Ukrainy.

4.Zhydkova, T., & Hrybalskyi, Ya. (2023). *Zabezpechennia dostupnosti sporud tsyvilnoho zakhystu dlia malomobilnykh hrup naselennia: Metodichniy posibnyk*. Natsionalna asambleia liudei z invalidnistiu Ukrainy. https://naiu.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/NAIU_AvailabilityOfCivilProtectionStructuresUA_v04.pdf

5.Derzhbud Ukrainy. (1973). *Silski hromadski sporudy: Albom typovykh proektiv*. Kyiv: Budivelnik.

6.Liakh, V. M., & Dmytrenko, A. Yu. (2016). *Osnovy typolohichnoho analizu v arkhitekturi ta mistobuduvanni: navchalnyi posibnyk* (za zah. red. V. M. Liakha). Poltava: PolNTU.

7.Kovalskyi, L. M., Dmytrenko, A. Yu., Liakh, V. M., [ta in.]. (2018). *Arkhitekturna typolohiia hromadskykh budynkiv i sporud: pidruchnyk*. Kyiv: Interservis. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/4547>

8.DBN B V.3.1-2:2016. (2017). *Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhual'nykh budivel'nykh konstruksii ta osnov budivel' i sporud* (Nakaz Minrehionu vid 24.06.2016 №182, chynnyi z 2017-04-01). Kyiv: DP «UkrNDNTs».

Література

1. ДБН В.2.2-5:2023 зі Зміною №1. Захисні споруди цивільного захисту / Накази Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 10.08.2023 року №702 та 10.10.2023 року №921, чинні з 2023-11-01. – К.: Мінінфраструктури України, 2023. – 131 с.

2. Овсій О. М. Типові моделі евакуаційних шляхів залежно від об'ємно-конструктивного вирішення та призначення існуючих будівель та типу захисних споруд цивільного захисту / О. М. Овсій, Д. М. Овсій // *Тези 77-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету* (Полтава, 16 травня – 22 травня 2025 р.). – Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – Т. 2. – С. 150–153. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/18872>

3. ДБН В.2.2-40:2018 зі Зміною №1. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення / Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 30.11.2018 № 327 та Накази Мінрегіону: від 30.12.2021 № 365, від 31.01.2022 № 22, від 08.04.2022 № 62, від 16.05.2022 № 72, чинні з 2022-09-01. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 75 с.

4. Забезпечення доступності споруд цивільного захисту для маломобільних груп населення. Методичний посібник / упорядники: Т. Житкова & Я. Грибальський. / Національна Асамблея людей з інвалідністю України. – 40 с. https://naiu.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/NAIU_AvailabilityOfCivilProtectionStructuresUA_v04.pdf

5. Держбуд України. Сільські громадські споруди. Альбом типових проєктів. – К.: Будівельник, 1973. – 240 с.

6. Лях В. М. Основи типологічного аналізу в архітектурі та містобудуванні: навчальний посібник / В. М. Лях, А. Ю. Дмитренко; за заг. ред. В. М. Ляха. – Полтава : ПолтНТУ, 2016. – 197 с.

7. Архітектурна типологія громадських будинків і споруд: підручник / Л.М. Ковальський, А.Ю. Дмитренко, В.М. Лях [та ін.]; КНУБА, ПолтНТУ. – К. : Інтерсервіс, 2018. – 484 с. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/4547>

8. ДБН Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Текст]: Наказ Мінрегіону від 24.06.2016 №182, чинний з 2017-04-01. – К.: ДП "УкрНДНЦ", 2017. – 72 с.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A. H. Azizova

Postgraduate student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6282-5260>

Department of Construction and Civil Engineering of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Vitaliya Hrytsayenka Avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011

M. V. Pents

Postgraduate student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8974-8557>

Department of Building Structures of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Vitaliya Hrytsayenka Avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011

D. M. Ovsii*

Ph.D. in Engineering, Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7007-1857>

Department of Construction and Civil Engineering of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Vitaliya Hrytsayenka Avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011

A. V. Hasenko

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1045-8077>

Department of Highways, Geodesy, Land and Management of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Vitaliya Hrytsayenka Avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011

*corresponding author, e-mail: mr.ovseev@ukr.net

Structural solutions for the renovation of dual-use built-in spaces in buildings of educational institutions with a wall structural system

How to Cite:

Azizova, A. H., Pents, M. V., Ovsii, D. M., Hasenko A. V. (2025). Structural solutions for the renovation of dual-use built-in spaces in buildings of educational institutions with a wall structural system. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 20-39. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-02](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-02)

Abstract. The article presents the results of a generalization of constructive solutions for the restoration of built-in premises of dual-purpose underground structures in existing buildings of educational institutions with a wall structural bearing system. A classification of constructive solutions is proposed depending on the directions of construction and repair work on the restoration of built-in premises of a dual-purpose underground structure in existing buildings of educational institutions, depending on the presence or absence of basements in them. When classifying structural solutions, options for cases of frameless (wall) structural systems of existing buildings of educational institutions with the location of load-bearing walls in the longitudinal direction were taken into account. A generalization of options for basic structural solutions for strengthening wall and floor elements in existing buildings at the basement or technical underground level has been carried out. A general classification of options for strengthening or restoring columns, posts, and masonry section of a building wall by increasing their cross-sections in their plane and/or in their out-of-plane sections using additional structural elements is presented. A general classification of options for strengthening or restoring beam and slab reinforced concrete girder structural elements of floors of buildings by increasing their cross-sections is also provided. The general directions of constructive solutions for the restoration of built-in premises of dual-purpose in existing buildings of educational institutions, depending on the necessary evacuation requirements and the case of their structural bearing system, developed in the article will allow them to be designed with appropriate measures to strengthen their main load-bearing structural elements of walls and ceilings at the basement level.

Keywords: built-in underground protective structures of dual purpose, educational institution buildings, arrangement, reconstruction.

УДК 624.012.45:666.972.17

О. В. Андрійчук*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6275-097X>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Д. Ю. Громов

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7862-6662>

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: [Aleklutsk@gmail.com](mailto:Alekhlutsk@gmail.com)

Встановлення кореляційної залежності між неруйнівними та руйнівними випробуваннями бетону і сталефібробетону

Цитувати як:

Андрійчук, О. В., Громов, Д. Ю. (2025). Встановлення кореляційної залежності між неруйнівними та руйнівними випробуваннями бетону і сталефібробетону. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 40-51. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-03)

© 2025, Андрійчук О. В., Громов Д. Ю.

У статті узагальнено сучасні методи неруйнівного оцінювання міцності бетонних і залізобетонних конструкцій та представлено результати експериментальних досліджень із використанням склерометрії й руйнівних випробувань за допомогою пресу ПСУ-250. Актуальність роботи визначається потребою у достовірному контролі технічного стану конструкцій без порушення їх цілісності, оскільки застосування руйнівних методів у практичних умовах часто обмежене. Метою дослідження є оцінювання точності неруйнівного визначення міцності бетону та встановлення кореляції між показником відскоку склерометра і фактичним значенням міцності на стиск.

Експериментальну частину виконано на кубах і циліндрах із звичайного бетону та сталефібробетону ($\mu = 1\%$). Для кожного зразка проведено десять склерометричних вимірювань, визначено середній показник відскоку R , стандартне відхилення та коефіцієнт варіації, тоді як міцність на стиск F визначена за результатами випробувань на пресі ПСУ-250. Встановлено, що сталефібробетон характеризується нижчим коефіцієнтом варіації (6-10 % проти 11-14 % у звичайного бетону) та підвищеною міцністю на 2-6 МПа.

Порівняння неруйнівних і руйнівних методів засвідчило систематичне завищення результатів склерометрії в межах 20-40 %, що підтверджує необхідність використання калібрувальних залежностей $R - F$ у практиці технічного діагностування. Отримані результати підтверджують ефективність неруйнівних методів для орієнтовного оцінювання міцності бетону, моніторингу технічного стану конструкцій та раннього виявлення пошкоджень, що є важливим для інженерної практики.

Ключові слова: бетон, залізобетон, сталефібробетон, згинальний елемент, напружено-деформований стан, міцність на стиск, несуча здатність, неруйнівні методи, склерометр, моделювання, технічне обстеження.

Вступ

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. Забезпечення надійності бетонних і залізобетонних конструкцій під час експлуатації є одним із ключових завдань сучасного будівництва. Достовірне визначення міцності бетону без порушення цілісності конструкції є ключовою умовою для прийняття обґрунтованих технічних рішень, оцінювання залишкового ресурсу та своєчасного виявлення потенційно небезпечних дефектів. Традиційні руйнівні методи, що передбачають відбір зразків або локальне пошкодження елементів, часто є неприйнятними через значну трудомісткість, високу вартість та ризик зміни напружено-деформованого стану конструкції. Як альтернатива цьому – неруйнівні методи оцінювання міцності бетону – дають змогу визначати фізико-механічні характеристики матеріалу без його пошкодження, забезпечуючи оперативність, економічність і можливість виконання масових обстежень. Це особливо актуально для України, через наявну величезну кількість будівель із пошкодженими залізобетонними колонами, згинальними елементами тощо [1].

В Україні використовують ультразвуковий і механічний способи неруйнівного контролю міцності бетону [2]. Згідно з нормативними документами [3, 4], до основних методів належать: ультразвуковий метод із наскрізним прозвучуванням, метод пружного відскоку, метод пластичної деформації, а також метод відриву зі сколюванням.

Аналіз праць [5-8] свідчить, що застосування неруйнівних методів є ефективним як для оцінювання міцності, так і для контролю корозійного стану арматури та загального технічного стану споруд. У [5] наведено результати неруйнівного контролю арматури в умовах морського середовища; у [6] систематизовано стадії корозійних пошкоджень; у [7] показано, що комбіноване застосування кількох неруйнівних методів дозволяє знизити відносне відхилення прогнозованої міцності до 10 %; у [8] підкреслено роль постійного моніторингу із застосуванням сенсорних систем. Водночас точність неруйнівних методів значною мірою визначається статистичною стабільністю результатів та рівнем кореляції між отриманими неруйнівними показниками і фактичною міцністю бетону [9-12].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є узагальнення неруйнівних методів оцінювання міцності бетонних і залізобетонних конструкцій та детальне експериментальне дослідження склерометричного методу з порівнянням його результатів із пресовими випробуваннями кубів і циліндрів зі звичайного бетону та сталевібробетону, що містить $\mu = 1$ % сталевих волокон за об'ємом.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

- 1) проаналізувати класифікацію та принципи дії основних неруйнівних методів оцінювання міцності бетону в конструкціях;
- 2) провести склерометричні випробування бетонних кубів і циліндрів зі звичайного бетону та сталевібробетону в будівельній лабораторії;
- 3) виконати руйнівні випробування зразків на стиск;
- 4) визначити кореляцію між результатами неруйнівних і руйнівних методів;
- 5) оцінити вплив сталевих фібри на однорідність структури бетону та особливості руйнування зразків під час стиску.

Матеріали та методи

Склерометричні методи неруйнівного випробування – це механічні способи визначення поверхневої твердості бетону, які широко застосовують для оперативної оцінки його міцності безпосередньо на об'єкті.

Експериментальна частина дослідження здійснена в науково-дослідній будівельній лабораторії Луцького національного технічного університету. Об'єктами випробувань були куби розміром $150 \times 150 \times 150$ мм та циліндри діаметром $\varnothing 150$ мм і висотою $h = 300$ мм, виготовлені зі звичайного бетону та сталевібробетону з вмістом фібри 1 % за об'ємом.

Для кожного зразка виконано 10 ударів електронним склерометром (рис. 1, а) на відстані приблизно 20-30 мм в центральній частині зразків. Фактичну міцність зразків на стиск визначали за допомогою гідравлічного преса ПСУ-250 (рис. 1, б) згідно зі стандартною методикою випробувань.

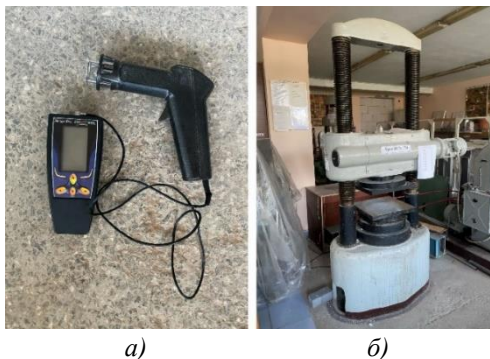


Рис. 1. Лабораторне обладнання для вимірювання міцності:
а - електронний склерометр (неруйнівний метод);
б - прес ПСУ-250 (руйнівний метод)

Математична обробка результатів дослідження виконувалася із використанням базових статистичних залежностей. Формули (1)-(4) використовувалися для визначення середнього значення (1), стандартного

відхилення (2), коефіцієнта варіації (3) та коефіцієнта кореляції між R і F (4), який дає можливість кількісно оцінити ступінь узгодженості та збіжності між результатами, отриманими неруйнівними та руйнівними методами оцінювання міцності

- середнє значення: $R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$, (1)

- стандартне відхилення: $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - R)^2}$, (2)

- коефіцієнт варіації: $CV = \frac{s}{R} \times 100 \%$, (3)

- коефіцієнт кореляції Пірсона: $r_{RF} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R)(F_i - F)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - R)^2 \sum_{i=1}^n (F_i - F)^2}}$. (4)

Сукупно ці залежності дозволяють оцінити точність неруйнівного методу та його відповідність результатам руйнівних пресових випробувань.

Результати та обговорення

Для проведення експериментальних досліджень в будівельній лабораторії було виготовлено серії кубів без армування (Б_К-1, Б_К-2, Б_К-3) та кубів зі сталевібробетону із вмістом $\mu = 1 \%$ сталевібробетону (СФБ_К-1, СФБ_К-2, СФБ_К-3). Аналогічно були виготовлені циліндри без армування (Б_Ц-1, Б_Ц-2, Б_Ц-3) та циліндри зі сталевібробетону (СФБ_Ц-1, СФБ_Ц-2, СФБ_Ц-3).

Бетон виготовляли класу С25/30 відповідно до вимог діючих норм. Склад бетонної суміші підбирався таким чином, щоб забезпечити стабільні показники міцності та однорідності. У якості дрібного заповнювача використовувався митий кварцовий пісок, як крупний – щебінь фракції 2-5 мм, цемент – марки М500. Водцементне співвідношення становило приблизно 0,58, що забезпечувало необхідну рухливість суміші для формування зразків.

Як дисперсне армування застосовували анкерну сталеву фібру довжиною $l = 50$ мм та діаметром $\varnothing 1$ мм (рис. 2).



Рис. 2. Анкерна сталевіа фібра, використана у складі сталевіа фібробетону

Волокна рівномірно добавлялися в бетонну суміш у кількості $\mu = 1$ % за об'ємом, що відповідає середній концентрації для забезпечення ефективного процесу тріщиностримування та підвищення енергоємності руйнування.

Сформовані куби і циліндри ущільнювали шляхом вібрування для видалення повітряних включень та формування однорідної структури.

Твердіння дослідних зразків здійснювалося з дотриманням регламентованого режиму витримування. У першу добу після виготовлення куби та циліндри перебували під поліетиленовою плівкою для запобігання інтенсивному випаровуванню вологи. Після розпалублення зразки протягом 7 діб витримували у воді за температури (20 ± 2) °С, що забезпечувало їх рівномірне насичення вологою. Надалі до завершення 28-ї доби твердіння зразки перебували у ванні з гідравлічним затвором, що дозволяло підтримувати стабільні умови вологісного середовища (відносна вологість ≥ 95 %).

На рис. 3 представлено процес виготовлення дослідних зразків.



Рис. 3. Процес виготовлення експериментальних зразків – циліндрів і кубів

Сталевіа фібробетонні зразки демонстрували більш пластичний і контрольований характер руйнування. Це зумовлено наявністю сталевих волокон, які виконують функцію містків тріщин (рис. 4), перешкоджаючи раптовому крихкому відокремленню фрагментів матеріалу. Завдяки цьому зразки зберігали відносну цілісність навіть після втрати несучої здатності. На відміну від сталевіа фібробетону, для звичайного бетону характерні чітко виражене розкриття тріщин та відшарування поверхневих фрагментів. Отже, сталевіа фібробетон характеризується підвищеною тріщиностійкістю, меншим розкриттям тріщин і збереженням залишкової цілісності після руйнування. На рис. 4 наведено зразки після випробувань на стиск, а на рис. 5 – прояв ефекту стримування подальшого розвитку тріщин фібрами.



Рис. 4. Дослідні зразки після руйнівного випробування на стиск



Рис. 5. Прояв ефекту «мостіння» тріщин сталевими волокнами
(англ. *crack-bridging effect*)

Аналіз результатів склерометричних вимірювань і руйнівних випробувань кубів і циліндрів виявив чітку відмінність у поведінці звичайного бетону та сталевібробетону. Для кубічних зразків без фібри (Б_К-1...Б_К-3) середні значення стандартного відхилення становили $s = 5,39-5,67$ МПа, а коефіцієнта варіації - $CV = 12,82-13,94$ %. Додавання $\mu = 1$ % сталевіброфібри зменшило дисперсію результатів: для серій СФБ_К-1...СФБ_К-3 значення s знизилися до $3,2-4,51$ МПа, а CV - до $7,57-10,5$ %. Це вказує на підвищення однорідності матеріалу та зменшення його чутливості до локальних структурних дефектів. Подібна закономірність спостерігається також для циліндричних зразків. У звичайного бетону (Б_Ц-1...Б_Ц-3) коефіцієнт варіації становив $CV = 10,27-11,44$ %, а в сталевібробетоні (СФБ_Ц-1...СФБ_Ц-3) він знизився до $CV = 5,94-8,82$ %. Зразки серій СФБ_Ц-2 та СФБ_Ц-3 мали менше розсіювання показників і суттєво вищу міцність при стиску – $F = 41,05$ та $F = 43,88$ МПа відповідно.

Порівняння значень F для кубів показує, що середня міцність звичайного бетону становила $F = 31,2-32,5$ МПа, а в сталевібробетону вона збільшилася до $F = 32,0-36,2$ МПа.

Варто зазначити, що застосування дисперсного армування підвищило міцність зразків та зменшило розсіювання отриманих результатів, як при склерометричних, так і при пресових випробуваннях.

Розширені результати руйнівних випробувань наведено у табл. 1.

Табл.1. Результати експериментальних випробувань

Серія	Тип зразка	R, МПа	s, МПа	CV, %	F, МПа
Б К-1	Куб ($\mu = 0$)	42,04	5,39	12,82	30,95
Б К-2	Куб ($\mu = 0$)	44,05	5,67	12,87	32,25
Б К-3	Куб ($\mu = 0$)	40,04	5,58	13,94	32,47
СФБ К-1	Куб ($\mu = 1,0$)	40,54	3,62	8,92	32,47
СФБ К-2	Куб ($\mu = 1,0$)	42,96	4,51	10,5	32,04
СФБ К-3	Куб ($\mu = 1,0$)	42,28	3,2	7,57	36,18
Б Ц-1	Циліндр ($\mu = 0$)	32,19	3,45	10,73	23,55
Б Ц-2	Циліндр ($\mu = 0$)	35,76	3,67	10,27	24,66
Б Ц-3	Циліндр ($\mu = 0$)	32,58	3,73	11,44	28,26
СФБ Ц-1	Циліндр ($\mu = 1,0$)	31,9	2,81	8,82	24,93
СФБ Ц-2	Циліндр ($\mu = 1,0$)	41,05	2,44	5,94	25,76
СФБ Ц-3	Циліндр ($\mu = 1,0$)	43,88	2,83	6,44	31,3

Зменшення коефіцієнта варіації для сталевібробетону свідчить про стабілізацію структури бетону при наявності в ньому сталевібробетону та підвищення рівномірності його механічної відповіді. Це позитивно впливає на точність неруйнівного оцінювання, оскільки покращуються умови формування коректних калібрувальних залежностей $R - F$.

Порівняння результатів неруйнівних і руйнівних випробувань засвідчило систематичне завищення оцінок міцності бетону за склерометричними вимірюваннями. Для кубічних зразків без фібри неруйнівні показники перевищували пресові результати в середньому на 30-35 %, тоді як для сталевібробетону – на 25-30 %. Для циліндрів розбіжність була ще більшою: 32-35 % для звичайного бетону та до 40 % для сталевібробетону. Таким чином, у всіх серіях спостерігалось істотне завищення значень міцності за склерометрією.

Встановлена розбіжність є характерною для неруйнівних методів і зумовлена низкою фізичних та технологічних чинників. По-перше, склерометр визначає твердість і пружність поверхневого шару бетону, який зазвичай має більшу міцність, ніж внутрішні ділянки. Це пов'язано з

інтенсивнішим твердненням поверхні через кращий доступ повітря, швидше випаровування вологи та особливості умов витримування. По-друге, ударний імпульс склерометра взаємодіє з матеріалом на малій глибині, тому метод менш чутливий до внутрішніх дефектів, неоднорідності, мікротріщин і розташування крупного заповнювача. Натомість під час пресового випробування руйнується весь об'єм зразка, що відображає його реальну макроструктурну міцність.

Крім того, склерометричні покази залежать від локальної щільності та стану поверхні: навіть незначні варіації шліфування або нерівностей можуть призвести до завищення величини пружного відскоку та, відповідно, значення R . Руйнівний метод не має цього впливу, оскільки характеризує матеріал у повному об'ємі. Додатковим чинником є нечутливість універсальних калібрувальних залежностей до складу бетону, типу заповнювача, розміру зразка та наявності фібри. У разі невідповідності залежності конкретній суміші виникає системне зміщення результатів у бік більших значень. У сукупності ці фактори пояснюють систематичне завищення неруйнівних оцінок міцності та обумовлюють необхідність використання індивідуальних калібрувальних залежностей $R - F$ для конкретного складу бетону та типу дослідних зразків.

Аналіз коефіцієнта кореляції Пірсона між результатами неруйнівних (R) і руйнівних (F) випробувань засвідчив наявність вираженого статистичного зв'язку. Загальне значення кореляції для всіх 12 зразків становило $r = 0,754$, що вказує на сильну лінійну залежність. Для зразків без фібри коефіцієнт становив $r = 0,823$, що свідчить про дуже високий рівень узгодженості між неруйнівними та руйнівними показниками. Для сталевібробетону кореляція дещо нижча ($r = 0,661$), що пояснюється впливом сталевих волокон на параметр поверхневого відскоку склерометра. Окремий аналіз за формою зразків засвідчив майже нульову кореляцію для кубів ($r = 0,010$) та помірно виражену кореляцію для циліндрів ($r = 0,632$). Таке співвідношення узгоджується з відомою чутливістю склерометричного методу до геометрії та стану поверхні, що впливає на точність калібрувальних залежностей $R - F$. Отримані значення r свідчать, що побудова калібрувальних рівнянь $R - F$ є доцільною, але повинна виконуватись окремо для різних типів зразків і складів бетону.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні уточнених калібрувальних залежностей $R - F$ для різних типів бетонів і урахуванням вологості, віку матеріалу та стану поверхні. Доцільним є застосування комбінованих неруйнівних методів, зокрема поєднання склерометрії та ультразвукових вимірювань, а також розширення експериментальних досліджень сталевібробетону з різним вмістом і типом фібри. Перспективним напрямом є також моделювання напружено-деформованого стану з урахуванням впливу сталевіброфібри та формування бази даних для алгоритмів машинного навчання з метою підвищення

точності прогнозування міцності за результатами неруйнівних випробувань.

Висновки

Сталефібробетон є композитним матеріалом із вираженою структурною неоднорідністю, зумовленою наявністю дискретних сталевих волокон, часткова орієнтація яких може спричиняти локальні прояви анізотропії механічних властивостей. Включення сталевих фібри забезпечує стабільність поверхневої міцності, що проявляється у зниженні коефіцієнта варіації склерометричних вимірювань.

Склерометричні методи забезпечують прийнятний рівень точності для орієнтовного визначення міцності бетону за умови їх калібрування за результатами пресових випробувань. Додавання $\mu = 1\%$ сталевих фібри підвищує однорідність структури бетону, зменшує CV (з $\approx 11-14\%$ до $\approx 6-10\%$) та збільшує міцність на стиск (на 2-6 МПа).

Неруйнівні методи доцільно застосовувати для оперативного контролю стану конструкцій під час експлуатації, зокрема в системах постійного моніторингу. Комбіноване застосування неруйнівних і руйнівних методів із побудовою індивідуальних калібрувальних залежностей $R - F$ забезпечує найвищу достовірність оцінювання реальної міцності матеріалу та може бути рекомендованим для практики інженерних обстежень.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Grynyova, I., Štuhec, D., Kos, Z., Bartosh, A. (2022). Bearing capacity of damaged reinforced concrete structures. *Young Scientist*, 11(111), 1–3. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-11-111-1>.
2. Betony. *Pravyla kontroliu mitsnosti: DSTU B V.2.7-224:2009*. (2010). Kyiv: Minrehionbud Ukrainy.

3. Betony. Ul'trazvukovyi metod vyznachennia mitsnosti: DSTU B V.2.7-226:2009. (2010). Kyiv: Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy.
4. Betony. Vyznachennia mitsnosti mekhanichnymy metodamy neruinyvnoho kontroliu: DSTU B V.2.7-220:2009. (2010). Kyiv: Minrehionbud Ukrainy.
5. Hornbostel, K., Danner, T., Geiker, M. R. (2020). Non-destructive test methods for corrosion detection in reinforced concrete structures. *Nordic Concrete Research*, 62(1), 41–61. <https://doi.org/10.2478/ncr-2019-0005>.
6. Zaki, A., Chai, H. K., Aggelis, D. G., Alver, N. (2015). Non-destructive evaluation for corrosion monitoring in concrete: A review and capability of acoustic emission technique. *Sensors*, 15, 19069–19101. <https://doi.org/10.3390/s150819069>.
7. Demir, T., Ulucan, M., Alyamaç, K. E. (2023). Development of combined methods using non-destructive test methods to determine the in-place strength of high-strength concretes. *Processes*, 11(3), 673. <https://doi.org/10.3390/pr11030673>.
8. Lang, C., Willmes, M. (2018). Non-destructive testing of reinforced concrete structures. In *Proceedings of the International Symposium on Structural Health Monitoring and Nondestructive Testing (SHM NDT) (Saarbruecken, Germany, October 4–5, 2018)*.
9. Budzynskyi I. M. (2023). Doslidzhennia parametriv armuvannia zalizobetonnykh konstrukttsii neruiniivnymi metodamy kontroliu: kvalifikatsiina robota mahistra, spetsialnist' 192 «Budivnytstvo ta tsyvil'na inzheneriia». Ternopil': TNTU. 67 s. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41194> (date of access: 14.11.2025).
10. Yasnii P. V., Yakubyshyn O. M., Dubizhanskyi D. I. (2012). Otsiniuvannia mitsnosti i tekhnichnoho stanu zalizobetonnykh konstrukttsii ultrazvukovym metodom. *Suchasni tekhnologii, materiali i konstrukttsii v budivnytstvi*, No. 2 (13), 20–23. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4051/234.pdf> (date of access: 14.11.2025).
11. Hameliak I. P., Kulak V. V., Zakharchenko Ye. O. (2021). Udoskonalennia metodyky otsinky mitsnosti tsementobetonu pry nepriamykh vymiriuvanniakh metodamy neruinyvnoho kontroliu. *Suchasni tekhnologii, materiali i konstrukttsii v budivnytstvi*, issue 30, no. 1, 42–51. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-42-51>.
12. Danylkiv A. Ya. (2023). Doslidzhennia mitsnisnykh kharakterystyk betonu ultrazvukovym metodom: kvalifikatsiina robota mahistra za spetsialnistiu 192 «Budivnytstvo ta tsyvilna inzheneriia». Ternopil': TNTU. 71 s. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41193> (date of access: 14.11.2025).

Література

1. Grynyova, I., Štuhec, D., Kos, Z., Bartosh, A. (2022). Bearing capacity of damaged reinforced concrete structures. *Young Scientist*, 11(111), 1–3. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-11-111-1>.
2. Бетони. Правила контролю міцності: ДСТУ Б В.2.7-224:2009. (2010). Київ: Мінрегіонбуд України.
3. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності: ДСТУ Б В.2.7-226:2009. (2010). Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України.

4. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю: ДСТУ Б В.2.7-220:2009. (2010). Київ: Мінрегіонбуд України.
5. Hornbostel, K., Danner, T., Geiker, M. R. (2020). Non-destructive test methods for corrosion detection in reinforced concrete structures. *Nordic Concrete Research*, 62(1), 41–61. <https://doi.org/10.2478/ncr-2019-0005>.
6. Zaki, A., Chai, H. K., Aggelis, D. G., Alver, N. (2015). Non-destructive evaluation for corrosion monitoring in concrete: A review and capability of acoustic emission technique. *Sensors*, 15, 19069–19101. <https://doi.org/10.3390/s150819069>.
7. Demir, T., Ulucan, M., Alyamaç, K. E. (2023). Development of combined methods using non-destructive test methods to determine the in-place strength of high-strength concretes. *Processes*, 11(3), 673. <https://doi.org/10.3390/pr11030673>.
8. Lang, C., Willmes, M. (2018). Non-destructive testing of reinforced concrete structures. In *Proceedings of the International Symposium on Structural Health Monitoring and Nondestructive Testing (SHM NDT) (Saarbruecken, Germany, October 4–5, 2018)*.
9. Будзінський І. М. (2023). Дослідження параметрів армування залізобетонних конструкцій неруйнівними методами контролю : кваліфікаційна робота магістра, спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Тернопіль: ТНТУ. 67 с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41194> (дата звернення: 14.11.2025).
10. Ясній П. В., Якубишин О. М., Дубіжанський Д. І. (2012). Оцінювання міцності і технічного стану залізобетонних конструкцій ультразвуковим методом. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, № 2 (13), 20–23. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4051/234.pdf> (дата звернення: 14.11.2025).
11. Гамеляк І. П., Кулак В. В., Захарченко Є. О. (2021). Удосконалення методики оцінки міцності цементобетону при непрямих вимірюваннях методами неруйнівного контролю. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, вип. 30, № 1, 42–51. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-42-51>.
12. Данилків А. Я. (2023) Дослідження міцнісних характеристик бетону ультразвуковим методом кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Тернопіль: ТНТУ. 71 с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41193> (дата звернення: 14.11.2025).

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 17.11.2025	Received in revised form 17.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O. V. Andriichuk*

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6275-097X>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

D. Y. Hromov

Postgraduate student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7862-6662>

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: Aleklutsk@gmail.com

Establishing the correlation between non-destructive and destructive testing of concrete and steel fiber reinforced concrete

How to Cite:

Andriichuk, O. V., Hromov D. Y. (2025) *Establishing the correlation between non-destructive and destructive testing of concrete and steel fiber reinforced concrete. Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 40-51. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-03)

Abstract. The article summarizes modern approaches to the non-destructive assessment of the strength of concrete and reinforced concrete structures and presents the results of experimental studies using sclerometric testing and compressive strength measurements. The relevance of the work is determined by the need to obtain reliable information about the technical condition of structures without violating their integrity, as the application of destructive methods is often limited under real operating conditions. The aim of the research is to evaluate the accuracy of non-destructive strength estimation and to establish the correlation between the rebound number and the actual compressive strength.

The experimental program was carried out on concrete cubes and cylinders made of ordinary concrete and steel fiber reinforced concrete ($\mu = 1\%$). For each specimen, ten sclerometric measurements were performed to determine the average rebound value R , standard deviation, and coefficient of variation, while the compressive strength F was obtained using a PSU-250 testing machine. The results show that steel fiber reinforced concrete is characterized by a lower coefficient of variation (6–10 % compared to 11–14 % for ordinary concrete) and an increase in compressive strength of 2–6 MPa.

A comparison of non-destructive and destructive methods revealed a systematic overestimation of sclerometric results in the range of 20–40 %, confirming the necessity of applying calibration relationships $R - F$ in diagnostic practice. The findings demonstrate the effectiveness of non-destructive methods for approximate strength assessment, monitoring the technical condition of structures, and early detection of damage, which is crucial for engineering practice.

Keywords: concrete, reinforced concrete, steel fiber reinforced concrete, flexural element, stress-strain state, compressive strength, load-bearing capacity, non-destructive methods, sclerometer, modelling, structural inspection.

В. І. Анін

д.е.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2936-2262>

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Запорізький національний університет, просп. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006

Д. О. Фостащенко*

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4572-8623>

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Запорізький національний університет, просп. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006

*автор-кореспондент, e-mail: fostaschenko1@gmail.com

Підвищення ефективності організаційно-технологічних рішень в інфраструктурному будівництві шляхом впровадження системного підходу

Цитувати як:

Анін, В. І., Фостащенко, Д. О. (2025). Підвищення ефективності організаційно-технологічних рішень в інфраструктурному будівництві шляхом впровадження системного підходу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 52-62. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-04](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-04)

© 2025, Анін, В. І., Фостащенко, Д. О.

У статті досліджено проблему підвищення ефективності організаційно-технологічних рішень у сфері інфраструктурного будівництва на основі впровадження системного підходу. Визначено, що сучасна будівельна галузь України перебуває в умовах структурної трансформації, що вимагає інтеграції управлінських, технологічних та економічних процесів у єдину систему, орієнтовану на результат і стійкий розвиток. Метою дослідження є обґрунтування теоретичних і методичних засад підвищення ефективності організаційно-технологічних процесів шляхом застосування системного аналізу, моделювання та комплексної оцінки взаємозв'язків між елементами будівельного виробництва.

Методологічну основу становлять принципи системного підходу та сучасні положення теорії управління проектами. Використано методи структурно-функціонального моделювання, експертного оцінювання, порівняльного аналізу та системного синтезу. У роботі запропоновано структурно-логічну модель впровадження системного підходу в інфраструктурне будівництво, що забезпечує скорочення тривалості будівельного циклу та підвищення рівня узгодженості між суб'єктами управління.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості впровадження системного підходу в діяльність органів місцевого самоврядування та підрядних організацій для підвищення ефективності планування, ресурсного забезпечення й контролю реалізації інфраструктурних програм. Запропонована модель організаційно-технологічної інтеграції може бути використана для вдосконалення процесів календарно-мережевого планування, скорочення тривалості будівництва, раціоналізації використання трудових, матеріальних та

технічних ресурсів, а також підвищення узгодженості дій між учасниками будівельного циклу.

Наукова новизна полягає у формуванні інтегрованої системної моделі оцінювання ефективності організаційно-технологічних рішень, що поєднує технічні, економічні й управлінські аспекти проєктного циклу. Перспективи подальших досліджень стосуються розвитку цифрових інструментів (BIM, GIS, IoT) для реалізації принципів системного управління в інфраструктурному будівництві.

Ключові слова: організаційно-технологічні рішення, системний підхід, інфраструктурне будівництво, ефективність управління, інтеграція процесів.

Вступ

Інфраструктурне будівництво є однією з ключових галузей, що забезпечують сталий розвиток, підвищення рівня життя населення та конкурентоспроможність держави [1]. Однак в українських реаліях інфраструктурне будівництво є відносно новим явищем, що тільки починає набувати системного характеру та масштабного впровадження [2].

В умовах сучасних викликів – зокрема, потреби у відновленні зруйнованих об'єктів, інтеграції до європейських транспортних коридорів, децентралізації та зростання урбанізації – питання ефективного організаційно-технологічного забезпечення інфраструктурного будівництва стало надзвичайно актуальним.

Одним із ключових елементів успішної реалізації інфраструктурного будівництва є комплексне планування та координація організаційно-технологічних процесів з урахуванням взаємозв'язку між усіма стадіями життєвого циклу проєкту – від проєктування та підготовки будівельного майданчика до виконання будівельно-монтажних робіт і подальшої експлуатації об'єкта. Це передбачає інтеграцію сучасних методів управління, цифрових технологій, ресурсного моделювання та інженерного аналізу для досягнення максимальної ефективності та надійності реалізації проєктів.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. У сучасних умовах будівельна галузь України стикається з низкою викликів: необхідністю реконструкції інфраструктури, підвищенням вимог до якості, скороченням строків реалізації проєктів та інтеграцією цифрових технологій. Зокрема, дослідження показують, що підприємства будівельної сфери зазнають значного тиску через матеріальні, фінансові й технологічні обмеження, а також недостатній рівень інтеграції між організаційними та технологічними процесами [3].

Питання організації будівельних процесів ґрунтовно розглядалися як у теоретичному, так і практичному аспектах у працях багатьох науковців, зокрема: Арутюнян І. А., Аніна В. І., Бушуєва С. Д., Данкевич Н. О., Кірнос В. М., Кравчуновської Т. С., Мінакова В. М., Менейлюка О. І., Павлова І. Д.,

Поколенка В. О., Полтавець М.О., Радкевича А. В., Тугая О. А. Водночас, попри високий рівень професійної підготовки зазначених дослідників, залишаються нерозв'язаними численні складні завдання, які б інтегрували організаційні та технологічні аспекти інфраструктурного будівництва на основі системного підходу.

Організаційно-технологічні параметри будівельних проєктів та методи оптимізації для досягнення необхідних показників досліджені у роботах [4 – 10]. Застосування логістичних і системотехнічних інструментів для підвищення ефективності організаційно-технологічних завдань у будівництві наведені у дослідженнях [4, 5, 9].

В умовах швидкого ускладнення інфраструктурних об'єктів [11], обмеженості ресурсів та зростання вимог до якості й строків виконання робіт постає необхідність застосування системного підходу як методологічної основи для вдосконалення процесів планування, проєктування, реалізації та контролю в будівельній сфері. Такий підхід дає змогу сформувати нові принципи організації праці, логістики, забезпечення ресурсами та управління ризиками, що сприятиме підвищенню ефективності реалізації інфраструктурних проєктів у сучасних умовах.

Підхід до організації будівельного виробництва, який враховує лише окремі етапи – підготовку майданчика, технологічну послідовність або ресурсне забезпечення – не забезпечує належного рівня ефективності. Теоретичні положення системного підходу в управлінні проєктами вказують, що розгляд об'єкта як системи з елементами, які взаємодіють і впливають один на одного, дозволяє забезпечити вищу узгодженість та адаптивність [12].

Таким чином, проблему, яку фіксує дослідження, можна сформулювати так: у секторі інфраструктурного будівництва недостатньо розроблено і впроваджено системні моделі організаційно-технологічних рішень, що охоплюють взаємодію організаційної, технологічної і управлінської складових, а це обмежує потенціал підвищення ефективності будівельних проєктів.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є підвищення ефективності організаційно-технологічних рішень в інфраструктурному будівництві шляхом розроблення та впровадження системного підходу, який забезпечує інтеграцію організаційних, технологічних та управлінських компонентів будівельного процесу.

Матеріали та методи

Дослідження базується на застосуванні системного підходу до управління організаційно-технологічними процесами в інфраструктурному будівництві. Методологічну основу становлять принципи системного аналізу, структурно-функціонального моделювання та багатокритеріальної

оцінки, що дозволяють розглядати будівельний проєкт як складну систему, у якій взаємодіють організаційні, технологічні та управлінські підсистеми.

Інформаційна база сформована на основі аналізу нормативно-правових актів [13], відкритих даних галузевих звітів ДП «ДерждорНДІ», а також наукових публікацій українських дослідників, що присвячені питанням оптимізації будівельного виробництва [14]. Використання методу ієрархічного аналізу (АНР) забезпечило можливість визначення вагомості факторів ефективності організаційно-технологічних рішень та порівняння альтернативних схем реалізації будівельних процесів.

У дослідженні запропоновано структурно-логічну модель впровадження системного підходу, що включає етапи аналізу вихідних даних, моделювання взаємодії підсистем, оптимізації організаційно-технологічних процесів і контролю ефективності. Така модель дозволяє інтегрувати процеси планування, ресурсного забезпечення, управління ризиками та контролю якості у єдину керовану систему та сприяти підвищенню узгодженості між учасниками будівництва та зменшенню часових і фінансових втрат. На рис. 1 наведено структурно-логічну модель впровадження системного підходу до реалізації інфраструктурних проєктів.

Методикою дослідження передбачено застосування системного підходу, що поєднує структурно-функціональний аналіз, моделювання організаційно-технологічних процесів та багатокритеріальну оцінку ефективності.

Результати та обговорення

На цьому етапі дослідження розроблено структурно-логічну модель впровадження системного підходу в інфраструктурне будівництво. Модель побудована з урахуванням принципів системного аналізу, структурно-логічного моделювання та вимог державних будівельних норм. Її мета – створити теоретичну основу для подальшого практичного впровадження, що дозволить інтегрувати організаційні, технологічні та управлінські процеси в єдину систему прийняття рішень. В основі моделі лежить гіпотеза, що підвищення ефективності будівництва можливе за рахунок системної координації етапів «планування – виконання – контроль – оптимізація», коли всі підсистеми функціонують не ізольовано, а у взаємозв'язку.

Розроблена модель узгоджується з міжнародними рекомендаціями [15-17] та практиками управління інфраструктурними проєктами, викладеними у звітах ДП «ДерждорНДІ» [18]. Очікується, що її подальше застосування дасть змогу підвищити узгодженість між учасниками будівництва, скоротити часові та фінансові витрати, а також створити підґрунтя для розроблення національного стандарту системного управління інфраструктурними проєктами.

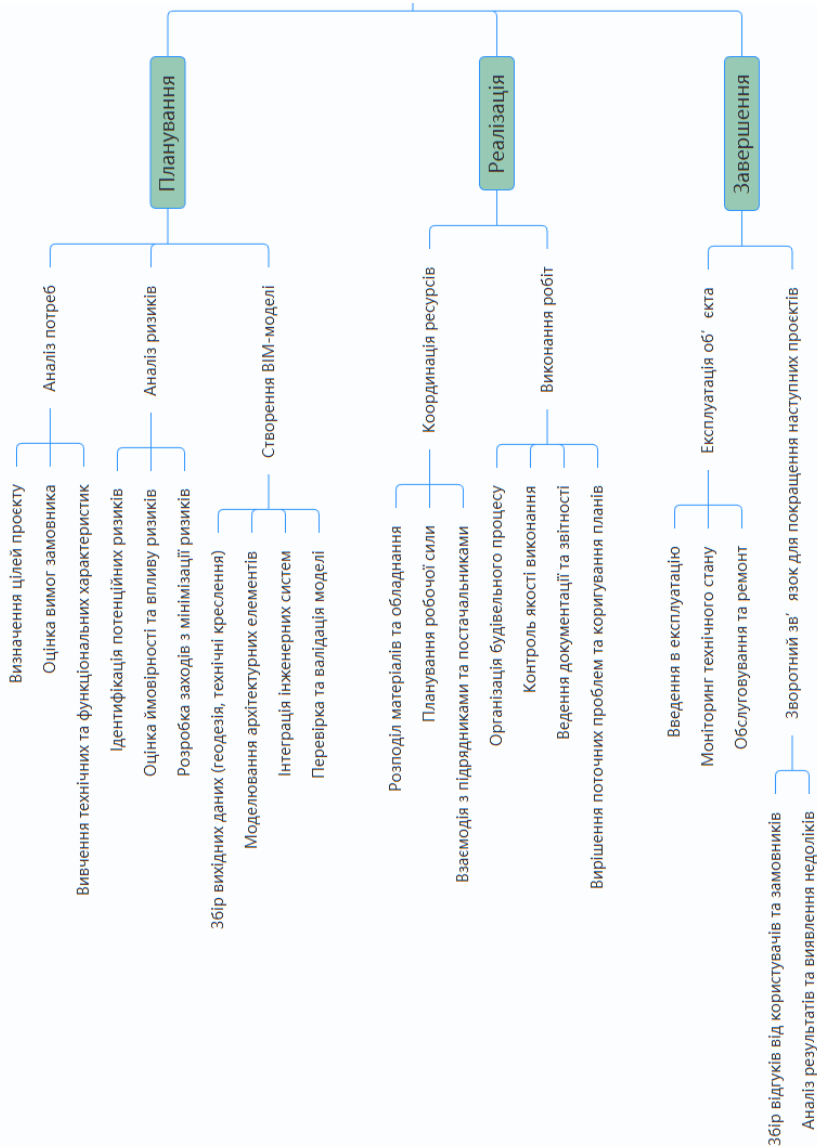


Рис. 1. Структурно-логічна модель впровадження системного підходу в інфраструктурне будівництво

Висновки

Проведене дослідження дозволяє сформулювати попередні висновки щодо потенціалу впровадження системного підходу як ключового інструменту підвищення ефективності організаційно-технологічних рішень в інфраструктурному будівництві. Аналіз теоретичних засад та сучасних тенденцій розвитку галузі свідчить про те, що традиційні методи управління вже не відповідають складності багаторівневих процесів, притаманних сучасним інфраструктурним проектам. У зв'язку з цим актуальним є пошук нових підходів, здатних забезпечити інтеграцію технічних, економічних, організаційних та соціальних компонентів у межах єдиної системи управління.

Системний підхід розглядається як концептуальна основа, що дозволяє комплексно оцінювати взаємозв'язки між етапами життєвого циклу проекту – від передінвестиційного аналізу до експлуатації об'єкта. Його впровадження створює можливості для підвищення узгодженості управлінських рішень, оптимізації ресурсів, зниження ризиків та підвищення якості кінцевого результату. На сучасному етапі особливої уваги потребує цифрова трансформація управління в будівництві, зокрема через застосування BIM-технологій, систем моніторингу, платформ типу DREAM, інтегрованих моделей життєвого циклу та автоматизованого контролю виконання робіт.

Попередні результати аналізу свідчать, що саме системний підхід має потенціал стати ефективним методологічним інструментом модернізації управлінських процесів у будівництві. Він може забезпечити цілісність управління, підвищення якості комунікацій між усіма стейкхолдерами, зменшення дублювання функцій і ресурсних втрат. Водночас необхідне подальше емпіричне дослідження для кількісної оцінки впливу системного підходу на ефективність реалізації інфраструктурних проектів у вітчизняних умовах.

Отже, системний підхід поки розглядається як перспективний напрям розвитку організаційно-технологічних рішень, що може забезпечити синергетичний ефект у взаємодії технічних, економічних та управлінських складових інфраструктурного будівництва. Його подальше дослідження має важливе теоретичне та практичне значення для формування нової парадигми ефективного, інноваційного й сталого розвитку будівельної галузі України.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Sustainable Development Strategy of Ukraine until 2030. (2017). https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ua/UNDP_Strategy_v06-optimized.pdf
2. Analytical module of the portal "Transparent Infrastructure" <https://mindev.gov.ua/news/31042-analiticnii-modul-portalu-prozora-infrastruktura-dozvolit-koznomu-ukrayinciu-provoditi-monitoring-doroznyoyi-galuzi-onlain-volodimir-omelian>
3. Yakushev, O. V., Bilan, E. V. (2024). Peculiarities of management of construction enterprises in the conditions of a post-conflict economy. *Economics and management organization*. 134-142. DOI: <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.2.12>
4. Arutiunian I. A., Arutiunian E. E. (2021). Optimization of construction production through system-technical and logistical approaches. *Bridges and tunnels: theory, research, practice*. № 19. P. 12-18. <http://btrp.diit.edu.ua/article/view/233869>
5. Arutiunian I. A., Kovalenko O. S. (2024). Optimization of organizational processes in civil construction using logistics models. *Bridges and tunnels: theory, research, practice*, (25), P. 13-19. <https://doi.org/10.15802/btrp2024/303286>
6. Arutiunian, I., Samovar, I. (2024). OPTIMIZATION OF MATERIAL AND TECHNICAL SUPPORT DURING CONSTRUCTION OF AN INDUSTRIAL BUILDING IN ZAPORIZHZHIA. *European Science*, 3(sge32-03), 5-59. <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-32-00-003>
7. Arutiunian I. A., Banach A. V., Arutiunian E. E (2020). Methodology for optimizing construction production in dense development conditions. *Bridges and tunnels: theory, research, practice*. № 17. P. 6-12. <https://btrp.ust.edu.ua/article/view/204997/204887>
8. Anin V. I, Harutyunyan I. A, Ichetovkin A. O. (2021). Scientific and methodological approach to the integration of quality management in the context of construction industry risks. *Bridges and tunnels: theory, research, practice* 19. P. 5-12. <http://btrp.diit.edu.ua/article/view/233726/232426>
9. A.A. Tugai, Toni Samaha (2022). Determination of the impact of the load on buildings for the subsequent optimal choice of the organizational and technological solution of the construction project. // Collection of scientific works. *Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of the formation of market relations*. Issue 2022. Vol. 10, № 50. P. 93-101. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50\(1\)](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50(1))
10. Tuhai O. (2021). Desing of Technological Systems. *Business Ethics and Sustainable Development* Interdisciplinary theoretical and empirical studies. No. 4, 52-59 ISSN 2451-456X <https://www.polsl.pl/scebizr/numer-4-2021>
11. Kramsky S. O. (2025). Management of infrastructure projects and programs of project-oriented organizations in turbulent conditions / S. O. Kramsky, O. V. Darushyn // *Graal nauki*. 2025. No. 53: based on materials of the 9th International Scientific-Practical Conference. «Globalization of scientific knowledge: international cooperation and

integration of sciences» (Vinnytsia–Vienna, June 20. 2025 p.). P. 337-343.
<https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/00314cdb-7d1f-42c3-bcf2-e7699004327/content>

12. Molokanova V. M., Gordeeva I. O. (2021). A Systemic Approach to Project Management in the Context of Behavioral Economics. *Management of Complex Systems Development*. Kyiv, .№ 45. P. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.45.43-49>

13. DBN A.3.1-5-2016 (2016). *Organization of construction production*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. (effective from 01.01.2017).

14. Pavlov I. D., Poltavets M. O., Pavlov F. I. System management of organizational and technological reliability of production processes in construction. *Bridges and tunnels: theory, research, practice*, (17), 53–61. <https://doi.org/10.15802/btrp2020/205011>

15. DSTU EN ISO 29481-1:2022 Building information models - Guidance on information delivery - Part 1: Methodology and format (EN ISO 29481-1:2017, IDT; ISO 29481-1:2016, IDT)

16. DSTU ISO 19650-2:2020 Organization and digitization of information on buildings and structures including building information modeling (BIM). Information management using building information modeling. Part 2. Construction phase (ISO 19650-2:2018, IDT).

17. DSTU ISO 19650-1:2020 Organization and digitization of information on buildings and structures, including building information modeling (BIM). Information management using building information modeling. Part 1. Concepts and principles (ISO 19650-1:2018, IDT).

18. DerzhdorNDI.xlsx <https://data.gov.ua/dataset/82cba1fb-dc4c-414f-96dc-3d8662dd121b/resource/bf25a699-bd91-4178-b865-187c5f7686db>

Література

1. Стратегія сталого розвитку України до 2030 року. (2017). https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ua/UNDP_Strategy_v06-optimized.pdf

2. Аналітичний модуль порталу «Прозора інфраструктура» <https://mindev.gov.ua/news/31042-analiticnii-modul-portalu-prozora-infrastruktura-dozvolit-koznomu-ukrayinciu-provoditi-monitoring-doroznyoyi-galuzi-onlain-volodimir-omelian>

3. Якушев, О. В., Білан Є. В. (2024). Особливості управління діяльністю будівельних підприємств в умовах постконфліктної економіки . *Економіка і організація управління*, 134-142. DOI: <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.2.12>

4. Арутюнян І. А., Арутюнян Є. Е. (2021). Оптимізація будівельного виробництва за рахунок систематехнічних та логістичних підходів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. № 19. С. 12-18. <http://btrp.diit.edu.ua/article/view/233869>

5. Арутюнян І. А., Коваленко О. С. (2024). Оптимізація організаційних процесів у цивільному будівництві за допомогою логістичних моделей. *Мости та*

тунелі: теорія, дослідження, практика, (25), 13-19.
<https://doi.org/10.15802/bttrp2024/303286>

6. Арутюнян, І., & Самовар, Я. (2024). OPTIMIZATION OF MATERIAL AND TECHNICAL SUPPORT DURING CONSTRUCTION OF AN INDUSTRIAL BUILDING IN ZAPORIZHZHIA. *European Science*, 3(sgc32-03), 5-59.
<https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-32-00-003>

7. Арутюнян І. А., Банах А. В., Арутюнян Є. Е. (2020). Методологія оптимізації будівельного виробництва в умовах щільної забудови. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. № 17. С. 6-12.
<https://bttrp.ust.edu.ua/article/view/204997/204887>

8. Анін В. І, Арутюнян І. А, Ічетовкін А. О. (2021). Науково-методологічний підхід інтеграції управління якістю в умовах ризиків будівельної галузі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика* 19. 5-12.
<http://bttrp.diit.edu.ua/article/view/233726/232426>

9. A.A. Tugai, Toni Samaha (2022). Determination of the impact of the load on buildings for the subsequent optimal choice of the organizational and technological solution of the construction project. // 36. наук. Праць. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. Vol. 10, № 50. P. 93-101. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50\(1\)](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50(1))

10. Tuhai O. (2021). Desing of Technological Systems. *Business Ethics and Sustainable Development* Interdisciplinary theoretical and empirical studies. No. 4, 52-59 ISSN 2451-456X <https://www.polsl.pl/scebizr/numer-4-2021>

11. Крамський С. О. (2025). Управління інфраструктурними проектами та програмами проектно-орієнтованих організацій в турбулентних умовах / С. О. Крамський, О. В. Дарушин // Грааль науки. 2025. № 53 : за матеріалами 9 Міжнар. наук.-практ. конф. «*Globalization of scientific knowledge: international cooperation and integration of sciences*» (Вінниця–Відень, 20 черв. 2025 р.). С. 337–343.
<https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/00314cdb-7d1f-42c3-bcf2-e76990004327/content>

12. Молоканова В. М., Гордєєва І.О. (2021). Системний підхід до управління проектами в умовах поведінкової економіки. *Управління розвитком складних систем*. Київ, № 45. С. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.45.43-49>

13. ДБН А.3.1-5-2016 (2016). *Організація будівельного виробництва*. Київ: Мінрегіонбуд України. (чинний від 01.01.2017).

14. Павлов І. Д., Полтавець М. О., Павлов Ф. І. Системне управління організаційно-технологічною надійністю виробничих процесів у будівництві. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, (17), 53–61.
<https://doi.org/10.15802/bttrp2020/205011>

15. ДСТУ EN ISO 29481-1:2022 Інформаційні моделі будівель. Настанова з доставляння інформації. Частина 1. Методологія та формат (EN ISO 29481-1:2017, IDT; ISO 29481-1:2016, IDT)

16. ДСТУ ISO 19650-2:2020 Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 2. Етап будівництва (ISO 19650-2:2018, IDT).

17. ДСТУ ISO 19650-1:2020 Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 1. Концепції та принципи (ISO 19650-1:2018, IDT).

18. ДерждорНДІ.xlsx <https://data.gov.ua/dataset/82cba1fb-dc4c-414f-96dc-3d8662dd121b/resource/bf25a699-bd91-4178-b865-187c5f7686db>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

V. I. Anin

D.Sc. in Economics, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2936-2262>

Department of Industrial and Civil Engineering

Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhia, 226 Sobornyi Avenue, Ukraine, 69006

D. O. Fostashchenko*

Ph.D.Student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4572-8623>

Department of Industrial and Civil Engineering

Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhia, 226 Sobornyi Avenue, Ukraine, 69006

*corresponding author, e-mail: fostaschenko1@gmail.com

Increasing the efficiency of organizational and technological solutions in infrastructure construction by implementing a systems approach

How to Cite:

Anin V.I., Fostashchenko D.O. (2025). Increasing the efficiency of organizational and technological solutions in infrastructure construction by implementing a systems approach. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 52-62. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-04](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-04)

Abstract. The article examines the problem of increasing the efficiency of organizational and technological solutions in the field of infrastructure construction based on the implementation of a systems approach. It has been determined that the modern construction industry of Ukraine is in a state of structural transformation, which requires the integration of managerial, technological and economic processes into a single system focused on results and sustainable development. The purpose of the study is to substantiate the theoretical and methodological principles of increasing the efficiency of organizational and technological processes through the use of systems analysis, modeling, and

comprehensive assessment of the relationships between elements of construction production.

The methodological basis is the principles of the systems approach and modern provisions of the theory of project management. The methods of structural-functional modeling, expert evaluation, comparative analysis and system synthesis are used. The paper proposes a structural-logical model for implementing a systems approach in infrastructure construction, which ensures a reduction in the duration of the construction cycle and an increase in the level of coordination between management entities.

The practical significance of the results obtained lies in the possibility of implementing a systemic approach in the activities of local governments and contracting organizations to increase the efficiency of planning, resource provision, and control over the implementation of infrastructure programs. The proposed model of organizational and technological integration can be used to improve calendar and network planning processes, reduce construction duration, rationalize the use of labor, material and technical resources, and increase the consistency of actions between participants in the construction cycle.

The scientific novelty lies in the formation of an integrated system model for assessing the effectiveness of organizational and technological solutions, which combines technical, economic and managerial aspects of the project cycle. Prospects for further research relate to the development of digital tools (BIM, GIS, IoT) for implementing the principles of system management in infrastructure construction.

Keywords: organizational and technological solutions, systems approach, infrastructure construction, management efficiency, process integration.

УДК 624.131.524

М.О. Березань*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8203-2798>

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Черкаський державний технологічний університет, бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, Україна, 18006.

С.В. Юрченко

ст. викл., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1740-8080>

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Черкаський державний технологічний університет, бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, Україна, 18006.

*автор-кореспондент, e-mail: berezan07@ukr.net

Особливості розрахунку одноповерхових промислових каркасних будинків на дію карстового провалу

Цитувати як:

Березань, М.О., Юрченко, С.В. (2025). Особливості розрахунку одноповерхових промислових каркасних будинків на дію карстового провалу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 24, 63-72. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-05](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-05)

© 2025, Березань М.О., Юрченко С.В.

У статті розглянуто проблему забудови закарстованих територій промисловими каркасними будинками, виконаний аналіз розповсюдження карсту як в Україні, так і всіх континентах. Карстові впливи на будинки мають небезпечний характер. Досвід будівництва і експлуатації показав можливість забезпечення надійності як окремих будинків, так і забудови промислових підприємств на територіях з карстово-суффозійними процесами.

Розвиток промислового будівництва на закарстованих територіях зумовлює необхідність розроблення спеціальних конструктивних систем і протикарстових захисних рішень, які забезпечують надійність і безпеку експлуатації будівель за умов невизначеності місцезнаходження можливих провалів та їх впливу на фундаменти.

Розглянуто основні вимоги до застосування конструктивних заходів захисту промислових каркасних будівель, при цьому акцентовано на переважному використанні стрічкових монолітних фундаментів під ряди колон.

Запропоновано методику розрахунку напружено-деформованого стану поздовжньої рами одноповерхового каркасного будинку, зведеного на стрічковому фундаменті, за умов впливу карстового провалу, що виникає у найменш сприятливому положенні — під місцем спирання колони.

Представлені формули, за якими визначаються згинаючі моменти та просадки, як на ділянці втрати контакту підовши стрічкового фундаменту з основою, так і за її межами. На основі отриманих формул виконаний чисельний аналіз показав, що максимальні значення додаткового згинаючого моменту в опорному перерізі колони при діаметрах провалів 4...10 м від поздовжнього зусилля

в колоні відповідає несиметричності провалу 0,37...0,4, для рівномірно розподіленого навантаження від ваги фундаменту і ґрунту на уступах – 0,2.

Визначено умови, за яких розрахунок необхідно вести з урахуванням жорсткості надфундаментних конструкцій каркасу. Для випадку, коли колона знаходиться над центром провалу, представлено вираз, із якого можна знайти граничний діаметр карстового провалу.

Відзначено, що при провалах більшіє 10 м необхідно вводити в фундаментній частині додаткові конструктивні елементи захисту – підпруги, балки, вертикальні в'язі по колонах.

Ключові слова: карстовий провал, конструктивний захист, стрічковий фундамент, розрахункова схема, методика розрахунку.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Карстові процеси мають глобальне поширення та спостерігаються на всіх континентах. Вони характерні, зокрема, для Динарських Альп (Європа), плато Налларбор (Австралія), територій США, Мексики, В'єтнаму та інших регіонів світу. На території України карст розвинений у межах Карпат, Поділля, Донбасу та Криму. Загальна площа поширення карстових процесів становить близько 60% території держави, при цьому в окремих адміністративних областях інтенсивність їх прояву сягає 60–100%. Найбільшу небезпеку становлять ділянки розвитку відкритих форм карсту - вирв, колодязів і провалів, які займають близько 27% загальної площі карстоутворень.

В зону карстового впливу можуть попадати об'єкти будь-якого призначення, в тому числі і промислові будівлі. Досвід будівництва й експлуатації показав можливість забезпечення надійності як окремих будинків, так і забудови промислових підприємств на територіях з карстово-суфозійними осіданнями. Деякі з можливих варіантів рішень із улаштування фундаментів промислових каркасних будинків представлені у джерелах [1-4].

Проте, незважаючи на наявний досвід, актуальною залишається проблема розроблення достовірних і ефективних методів оцінки впливу карстових провалів на роботу фундаментів та несучих конструкцій виробничих будинків, а також забезпечення їх безпечної експлуатації в умовах невизначеності місцезнаходження та параметрів можливих провалів.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розроблення ефективних методів розрахунку та конструктивних рішень, що забезпечують надійну роботу промислових каркасних будинків за умов впливу карстових провалів.

Основними завдання досліджень було: розробити розрахункову модель поздовжньої рами будинку за умови виникнення провалу у найбільш

несприятливому положенні, отримати вирази для визначення згинальних моментів і просядок при втраті контакту стрічкового фундаменту з основою, виконати чисельний аналіз напружено-деформованого стану рами та встановити умови, за яких необхідно враховувати жорсткість надфундаментних конструкцій каркасу, визначити граничні параметри карстового провалу, що призводять до втрати несучої здатності фундаменту.

Матеріали та методи

Дослідження здійснювалися із застосуванням аналітичних методів, що спираються на фундаментальні положення фізики, механіки, опору матеріалів і будівельної механіки та використовуються для побудови математичних моделей об'єктів, а також визначення їх напруженого стану, деформацій, стійкості й міцності.

У випадках виникнення проблеми стійкості об'єктів на карсті їх зазвичай вирішували шляхом застосування інженерно-геологічних заходів, зокрема, шляхом заповнення порожнин в основі будинків будівельними розчинами [5,6]. Але розвиток промислового будівництва на закарстованих територіях вимагає застосування спеціальних конструктивних рішень будинків та захисних заходів, які б забезпечували їхню безаварійну та безпечну експлуатацію. Характерною рисою проєктування конструктивних протикарстових заходів захисту є те, що вони повинні забезпечувати надійність будинків в умовах невизначеності місцезнаходження можливих провалів з різною ймовірністю їх утворення та впливу на фундаменти протягом усього терміну експлуатації будинку.

Конструкція будинку повинна унеможливити руйнування споруди або її фрагментів при утворенні карстового провалу навіть під несучою колоною [7]. Конструктивний захист найбільш ефективно зосереджувати у фундаментній частині. Перевагу слід віддавати будинкам на стрічкових монолітних фундаментах.

Жорсткість і міцність фундаменту кутових і крайових ділянок каркасної будівлі можуть бути збільшені влаштуванням консольних випусків фундаменту за його межі. Їх розміри повинні бути порівняні з розмірами очікуваних карстових провалів на ділянці розташування будинку та забезпечувати його стійкість при діаметрах провалу до 9 м [7].

Розрахунок одноповерхового каркасного будинку на стрічковому фундаменті на дію карстового провалу необхідно виконувати в площині поздовжньої рами. Поперечна рама розраховується на нерівномірну просядку однієї із опор. Виконуючи розрахунок поздовжньої рами, потрібно враховувати найбільш несприятливе положення карстового провалу під фундаментом будинку.

Розглянемо випадок утворення карстового провалу безпосередньо під колоною. Так як провальні впливи мають локальний характер і

додаткові зусилля сприймаються і передаються на основу прилеглими до провалу ділянками стрічкового фундаменту, виконується розрахунок лише фрагмента рами. В цьому стані зовнішнім навантаженням на раму, від якого в стрічковому фундаменті виникають додаткові зусилля, буде поздовжня сила в колоні, під фундаментом якої утворився провал. На ділянці, де фундамент втратив контакт з основою, необхідно враховувати його власну вагу та вагу ґрунту, що лежить на уступах у вигляді рівномірно розподіленого навантаження. Таким чином, при розрахунку поздовжньої рами на провальну дію основи зовнішнє навантаження впливає тільки на конструкції, що потрапили в зону провалу.

Результати та обговорення

Розрахункова схема поздовжньої рами на стадії деформаційного впливу основи представлена на рис.1.а, приведена для розрахунків – на рис.1.б. Для визначення напружено-деформованого стану конструкцій, які безпосередньо сприймають провальну дію основи, використовуємо диференціальні залежності між згинальним моментом, поперечною силою, переміщеннями та граничними умовами для різних ділянок фундаменту. Результатом розв’язування задачі є формули для визначення внутрішніх зусиль у стрічковому фундаменті як на ділянці провалу, так і за його межами, та значення його переміщення.

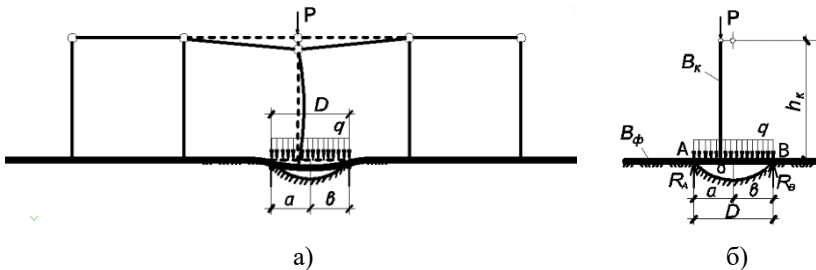


Рис. 1. Розрахункова схема: а – поздовжньої рами на стадії деформаційного впливу; б – фрагмента рами

На ділянці АО поперечна сила дорівнює опорній реакції

$$Q = R_A = B_{\phi} s_a''' \quad (1)$$

Для ділянки стрічкового фундаменту, що контактує з основою, диференціальне рівняння згину буде мати вигляд

$$\frac{d^4 s_1}{dx^4} + 4\beta s_1 = 0, \quad (2)$$

де

$$\beta = \sqrt{\frac{C}{4B_\phi}}; \quad C = C_0,$$

C_0 – коефіцієнт жорсткості основи при рівномірному стискуванні;
 b – ширина підшови фундаменту.

Інтеграл рівняння (2) записується наступним чином

$$s = A_1 e^{\beta x_1} \sin \beta x_1 + A_2 e^{\beta x_1} \cos \beta x_1 \quad (3)$$

Інтегруючи і диференціюючи відповідно рівняння (1) і (3) і використовуючи граничні умови, отримуємо вирази для визначення внутрішніх зусиль і переміщень стрічкового фундаменту по всіх ділянках.

Згинаючий момент від зосередженої сили P у місці обпирання колони на фундамент

$$M_o = \frac{R_A(1 + \beta a)^2 + R_B(1 + \beta b)^2}{2\beta(2 + \beta D)} + \frac{M_o^k(1 + \beta b)}{2 + \beta D}, \quad (4)$$

де

$$M_o^k = \frac{Pab(b^2 - a^2)}{(a^3 + b^3) + \frac{hD^2}{n}}. \quad (5)$$

Коефіцієнт n визначається як співвідношення жорсткостей колони і стрічкового фундаменту

$$n = \frac{B_k}{B_\phi} \quad (6)$$

Від рівномірно розподіленого навантаження на стрічковий фундамент

$$M_o = \frac{R_A(1 + \beta a)^2 + R_B(1 + \beta b)^2}{2\beta(2 + \beta D)} - \frac{q[2\beta(a^3 + b^3) + 3(a^2 + b^2)]}{6(2 + \beta D)} + \frac{M_o^k(1 + \beta b)}{2 + \beta D}, \quad (7)$$

де

$$M_o^k = \frac{qD^2[b^3 - a^3 + 3ab(b - a)]}{8\left[(a^3 + b^3) + \frac{h_k D^2}{n}\right]} \quad (8)$$

Для випадку, коли центр провалу знаходиться під колоною, тобто

$a = b$, вирази (4) і (7), за якими визначаються згинальні моменти у фундаменті приймають вигляд

$$M_o = \frac{P}{8\beta}(2 + \beta D) \quad (9)$$

$$M_o = \frac{qD^2}{8} + \frac{qD(6 - \beta^2 D^2)}{12\beta(2 + \beta D)} \quad (10)$$

У формулах (4 і (7) опорні реакції в точках А і В обчислюються відповідно за виразами

$$R_A = \frac{Pb}{D}(1 + \gamma_1), \quad (11)$$

$$R_B = \frac{Pa}{D}(1 - \gamma_2), \quad (12)$$

де коефіцієнти γ_1 і γ_2 визначаються за наступними формулами

$$\gamma_1 = \frac{a(b^2 - a^2)}{(a^3 + b^3) + \frac{h_k D^2}{n}} \quad (13)$$

$$\gamma_2 = \frac{b(b^2 - a^2)}{(a^3 + b^3) + \frac{h_k D^2}{n}} \quad (14)$$

Величина γ_1 у формулі (13) являє собою ступінь впливу жорсткості колони на опорну реакцію R_A . Чисельний аналіз показує, що вплив на величину γ_1 має висота колони h_k і співвідношення жорсткостей B_k і B_ϕ . Розглядаючи раму з висотою колони $h_k=4$ м, $D=10$ м і $n=1$ (екстремальні умови), знаходимо, що максимальне значення моментної складової γ_1 при зосередженому навантаженні не перевищує 15% від складової сили P і 22% при рівномірно розподіленому навантаженні. Зі зменшенням n спостерігається значне зменшення величини γ_1 . Практично при $n = 0,01$ жорсткістю колони при визначенні внутрішніх зусиль в стрічковому фундаменті можна знехтувати. Перевірка надійності будівлі на стадії експлуатації виконується за несучою спроможністю і деформаціями фундаменту.

Перша умова має вигляд

$$M_{max} \leq [M], \quad (15)$$

де M_{max} - максимальний згинальний момент у фундаменті, який визначається за формулами (4) і (7);

$[M]$ – граничне значення згинального моменту, згідно [8].

За другою умовою несуча здатність визначається із умови

$$D \leq [D], \quad (16)$$

де D – діаметр провалу, що визначений згідно інженерно-геологічних вишукувань;

$[D]$ – граничне значення діаметра провалу, за якого вичерпується несуча спроможність стрічкового фундаменту.

Граничне значення діаметра карстового провалу знаходиться із кубічного рівняння

$$[D]^3 + d[D]^2 + m[D] + c = 0, \quad (17)$$

де

$$d = \frac{3(\beta P + 2q)}{\beta q}, \quad (18)$$

$$m = \frac{12(\beta P - 2\beta^2 M + q)}{\beta^2 q}, \quad (19)$$

$$c = \frac{12(P - 4\beta M)}{\beta^2 q} \quad (20)$$

Перевірка за деформаціями виконується за умовою

$$S_{max} \leq [S], \quad (21)$$

де S_{max} – максимальний прогин фундаменту;

$[S]$ – граничне осідання фундаменту згідно [9].

Якщо хоч одна із умов (15), (16) і (21) не виконується, необхідно збільшити жорсткість фундаменту.

Висновок

1. Представлена методика дозволяє виконувати розрахунки стрічкового фундаменту одноповерхового промислового каркасного будинку як на стадії проектування, так і в період експлуатації для перевірки його несучої спроможності.

2. Якщо в процесі експлуатації виявляється, що в основі фундаментів можуть появлятися провали, значення яких перевищують несучу спроможність стрічкового фундаменту, а умови дозволяють виконати захисні заходи, позитивний ефект може бути досягнуто за рахунок введення в каркас будинку або в його фундаментну частину додаткових конструктивних елементів – балок, підпруг. Крім того, може бути збільшена висота фундаменту та площа підшви.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Prefabricated reinforced concrete cantilever-beam foundation with a base plate. Utility model patent No. 42791. Berezan M.O. Publ. 07/27/2009, Bull. No. 14.
2. Prefabricated reinforced concrete beam foundation with supporting block pillows. Utility model patent No. 73075. Berezan M.O., Rudenko Yu.S. Publ. 09/10/2012.; Bull. No. 17.
3. Prefabricated reinforced concrete foundation with supporting trusses. Utility model patent No. 98645. Berezan M.O., Selenkov V.M. Publ. 05/12/2015.; Bull. No. 24.
4. Caudron, M., Al Heib, M., & Emeriault, F. (2008). Collapses of Underground Cavities and Soil-Structure Interactions: Influences of the Position of the Structure Relative to the Cavity. arXiv preprint arXiv:0810.5297.
5. Kharchenko, I. Y., Kharchenko, A. I., Panchenko, A. I., Erofeev, V. T., Mirsayapov, I. T., Khozin, V. G., Tarakanov, O. V., & Zavalishin, E. V. (2024). Injection Technologies for Elimination of Karst-Suffosion Hazard and Soil Subsidence in the Foundation of Buildings and Structures. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 20(6), 593-612.
6. Petrash R.V. Strengthening existing foundations using drilling mud technology. / R.V. Petrash, O.V. Petrash // Collection of scientific papers (industry mechanical engineering, construction). – Poltava: PoltNTU, 2009. – Issue 2(24). – P. 136-140.
7. DSTU-N BV.1.1-41:2016. Guidelines for the design of buildings and structures in karst areas. Kyiv. State Enterprise "UkrNDNTs", 2017.
8. DBN V.2.6-98:2009 "Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions". Kyiv, Minregionalstroy of Ukraine.2011.
9. DBN V.2.1-10:2018. Foundations and foundations of buildings and structures. Basic provisions. Kyiv. Minregionalstroy of Ukraine. 2018.

Список використаної літератури

- 1.Збірний залізобетонний консольно-балочний фундамент з опорною плитою. Патент на корисну модель № 42791. Березань М.О. Опубл. 27.07.2009, Бюл. №14.
2. Збірний залізобетонний балочний фундамент з опорними блок-

подушками. Патент на корисну модель № 73075. Березань М.О., Руденко Ю.С. Опубл. 10.09.2012.; Бюл. № 17.

3. Збірний залізобетонний фундамент з опорними фермами. Патент на корисну модель № 98645. Березань М.О., Селенков В.М. Опубл. 12.05.2015.; Бюл. № 24.

4. Caudron, M., Al Heib, M., & Emeriault, F. (2008). Collapses of Underground Cavities and Soil-Structure Interactions: Influences of the Position of the Structure Relative to the Cavity. arXiv preprint arXiv:0810.5297.

5. Kharchenko, I. Y., Kharchenko, A. I., Panchenko, A. I., Erofeev, V. T., Mirsayapov, I. T., Khozin, V. G., Tarakanov, O. V., & Zavalishin, E. V. (2024). Injection Technologies for Elimination of Karst-Suffosion Hazard and Soil Subsidence in the Foundation of Buildings and Structures. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings, 20(6), 593-612.

6. Петраш Р.В. (2009). Підсилення існуючих фундаментів за допомогою бурозмішувальної технології. / Р.В. Петраш, О.В. Петраш // *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*, 2(24), 136-140.

7. ДСТУ-Н БВ.1.1-41:2016. Настанова щодо проектування будівель і споруд на закарстованих територіях. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2017.

8. ДБН В.2.6-98:2009 "Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення". Київ, Мінрегіонбуду України. 2011.

9. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ. Мінрегіон України. 2018.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 22.11.2025	Received in revised form 22.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

M.O. Berezan*

PhD, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8203-2798>

Department of Industrial and Civil Engineering

Cherkasy State Technological University, 460 Shevchenko Blvd., Cherkasy, Ukraine, 18006.

S.V. Yurchenko

Assoc. Prof., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1740-8080>

Department of Industrial and Civil Engineering

Cherkasy State Technological University, 460 Shevchenko Blvd., Cherkasy, Ukraine, 18006.

*corresponding author, e-mail: berezan07@ukr.net

Features of the calculation of one-story industrial frame buildings for the effect of a karst collapse

How to Cite:

Berezan M.O., Yurchenko S.V. (2025). Features of the calculation of one-story industrial frame

buildings for the effect of a karst collapse. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 24, 63-72. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-05](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-05)

Abstract. The article considers the problem of building karst areas with industrial frame buildings, analyzes the distribution of karst both in Ukraine and on all continents. Karst effects on buildings are dangerous. Construction and operation experience has shown the possibility of ensuring the reliability of both individual buildings and the construction of industrial enterprises in areas with karst-suffosis processes.

The development of industrial construction in karst areas necessitates the development of special structural systems and anti-karst protective solutions that ensure the reliability and safety of building operation under conditions of uncertainty about the location of possible failures and their impact on the foundations.

The main requirements for the application of structural measures to protect industrial frame buildings are considered, with an emphasis on the preferential use of strip monolithic foundations under rows of columns.

A method for calculating the stress-strain state of the longitudinal frame of a one-story frame house erected on a strip foundation under the influence of a karst sinkhole that occurs in the least favorable position - under the column support.

Formulas are presented by which bending moments and subsidences are determined, both in the area of loss of contact of the strip foundation sole with the base and beyond it. Based on the obtained formulas, a numerical analysis was performed showing that the maximum values of the additional bending moment in the column support section with sinkhole diameters of 4...10 m from the longitudinal force in the column correspond to the sinkhole asymmetry of 0.37...0.4, for a uniformly distributed load from the weight of the foundation and soil on the ledges - 0.2.

The conditions under which the calculation must be carried out taking into account the stiffness of the frame superfoundation structures are determined. For the case when the column is above the center of the sinkhole, an expression is presented from which the limiting diameter of the karst sinkhole can be found.

It is noted that for sinkholes of more than 10 m, it is necessary to introduce additional structural protection elements in the foundation part - braces, beams, vertical ties on the columns.

Keywords: karst sinkhole, structural protection, strip foundation, calculation scheme, calculation methodology.

УДК 69.05:69.022

А. Є. Буяк

к.е.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3756-6687>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

А. О. Вітровий*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2885-3745>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

П. В. Попович

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

М. Я. Шпінталь

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9864-7050>

Кафедра комп'ютерних наук

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

О. П. Захарчук

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

М. В. Буряк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-1498>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

*автор-кореспондент, e-mail: vitroviy_a@ukr.net

Підбір оптимальних параметрів базальтової фібри для підвищення міцності фібробетону

Цитувати як:

Буяк, А. Є., Вітровий, А. О., Попович, П. В., Шпінталь, М. Я., Захарчук, О. П., Буряк, М. В. (2025). Підбір оптимальних параметрів базальтової фібри для підвищення міцності фібробетону. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 73-84. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-06](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-06)

© 2025, Буяк А. Є., Вітровий А. О., Попович П. В., Шпінталь М. Я., Захарчук О. П., Буряк М. В.

У статті досліджено вплив кількості та геометричних параметрів базальтової фібри на міцнісні характеристики фібробетону та визначено закономірності зміни його основних фізико-механічних властивостей. Метою роботи є встановлення оптимальної довжини волокон і їх об'ємного вмісту у бетонній матриці, що забезпечують підвищення показників міцності при стиску, розтязі та згині. Актуальність дослідження зумовлена потребою підвищення довговічності та тріщиностійкості бетонних конструкцій, особливо в умовах дії

змінних навантажень і агресивних середовищ, де традиційні матеріали не завжди забезпечують необхідну надійність.

У процесі дослідження використано портландцемент марки ПЦ І-500, кварцовий пісок і гранітний щебінь, а також базальтову фібру різної довжини (від 8 мм до 20 мм) у різному співвідношенні до маси цементу. Методика дослідження передбачала виготовлення та випробування серій зразків фібробетону, у яких змінювалися параметри фібри. Випробування проводилися відповідно до чинних стандартів із визначення міцності при стиску та згині. Для кожного складу визначали середні значення міцності, відхилення та коефіцієнт варіації, що дозволило оцінити стабільність отриманих результатів.

Експериментальні дані свідчать, що оптимальним є використання базальтових волокон довжиною 12 мм при вмісті волокон 7,0 % від маси цементу. Саме за цих параметрів спостерігається підвищення міцності на розтяг при згині – до 25 % порівняно з контрольними зразками без фібри. При перевищенні цього вмісту відзначається погіршення однорідності суміші та зниження міцності через злипання волокон. Отримані результати підтверджують доцільність використання базальтової фібри як ефективного армувального компонента у виробництві фібробетонних конструкцій підвищеної надійності та експлуатаційної довговічності. Запропоновані рекомендації можуть бути використані у проектуванні дорожніх покриттів, промислових підлог, тонкостінних панелей та інших конструкцій, що зазнають динамічних навантажень.

Ключові слова: фібробетон, базальтова фібра, оптимізація складу, міцність бетону, армування волокнами.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Базальтове волокно останніми роками розглядається як перспективний армувальний матеріал для виробництва фібробетону завдяки високій міцності на розтяг, хімічній інертності, термостійкості та екологічності [1-7]. Його використання дає змогу суттєво покращити тріщиностійкість, ударну в'язкість і довговічність бетону.

Ряд досліджень [1, 2 та ін.] показують, що введення базальтової фібри в об'ємі до 0,3 % підвищує міцність на розтяг і вигин у середньому на 15–30%. Разом із тим, перевищення оптимального вмісту волокон спричиняє погіршення оброблюваності суміші та зниження міцності через утворення мікропорожнин. Аналогічні результати відзначаються при надмірній довжині волокон, коли їх нерівномірний розподіл у матриці призводить до агломерації й неоднорідності структури.

Ефективність армування фіброю залежить передусім від довжини волокон, їхнього об'ємного вмісту та співвідношення довжини до діаметра (L/d). Оптимальні значення цих параметрів визначаються складом бетону, розміром заповнювачів і режимом тверднення. Більшість авторів сходяться на тому, що використання базальтової фібри

довжиною 12–24 мм при вмісті 0,15–0,3 % забезпечує збалансоване підвищення міцності на стиск і розтяг без суттєвої втрати пластичності.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, єдиних рекомендацій щодо вибору оптимальних параметрів базальтової фібри не існує. Відомі результати суттєво різняться через відмінності у складі бетонної матриці, умовах приготування та випробувань.

Отже, актуальною науковою задачею є встановлення оптимального поєднання довжини, діаметра та об'ємного вмісту базальтової фібри, що забезпечує максимальне підвищення міцності та тріщиностійкості фібробетону при збереженні його технологічної рухливості та однорідності.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є встановлення оптимальних параметрів базальтової фібри – довжини, діаметра та об'ємного вмісту, які забезпечують максимальне підвищення міцності фібробетону при збереженні задовільних технологічних характеристик бетонної суміші.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні наукові джерела щодо впливу кількості та геометричних характеристик базальтових волокон на фізико-механічні властивості фібробетону.

2. Розробити програму експериментальних досліджень із варіюванням основних параметрів фібри (довжини, діаметра та об'ємного вмісту) у складі бетонної суміші.

3. Визначити експериментально міцнісні характеристики зразків фібробетону на стиск, розтяг при згині та осьовий розтяг для різних комбінацій параметрів базальтової фібри.

4. Оцінити вплив параметрів фібри на структуру, однорідність і тріщиностійкість фібробетону за результатами випробувань.

5. Встановити оптимальне співвідношення параметрів (довжина – діаметр – вміст) базальтової фібри, яке забезпечує найкраще поєднання міцності, тріщиностійкості та технологічних властивостей суміші.

6. Розробити рекомендації щодо практичного використання базальтової фібри у складі бетонів конструкційного призначення.

Матеріали та методи

Методикою досліджень передбачено використання портландцементу марки ПЦ І-500, природнього кварцового піску фракції 0,16–2,5 мм, щебню із граніту фракції 5–10 мм та води питної якості. Як дисперсне армування застосовували базальтову фібру різної довжини (8, 12, 16 та 20 мм) і масової частки (3 %, 5 %, 7 %, 9 % та 10 % від маси цементу). Фібру вводили в суху суміш перед додаванням води замішування.

Приготування бетонних сумішей здійснювалося в лабораторному змішувачі примусової дії. Для забезпечення

однорідного розподілу волокон суміш перемішували в три етапи: спочатку сухі компоненти, потім суха суміш із фіброю, після чого додавалася необхідна кількість води. Консистенцію бетонної суміші контролювали за осадкою конуса відповідно до вимог державних стандартів [8].

Зразки-балки розміром $100 \times 100 \times 400$ мм виготовляли методом ущільнення на вібраційному столі. Тверднення проводили в нормальних умовах при температурі $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ і відносній вологості 95 % протягом 28 діб. Міцність при стиску визначали на кубках $100 \times 100 \times 100$ мм, а міцність на розтяг при згині — на балках згідно з вимогами стандарту [9].

Результати обробляли статистично, визначаючи середні значення та коефіцієнт варіації для кожної серії зразків. Оптимальні параметри базальтової фібри встановлювали шляхом порівняння показників міцності та тріщиностійкості фібробетону залежно від довжини та концентрації волокон.

Результати та обговорення

Для вивчення характеру взаємодії базальтового волокна та цементно-піщаної суміші в ранні терміни твердіння базальтофібробетону (БФБ) проаналізуємо суміш з додаванням пришвидшувача твердіння бетону Betodur A1. При дослідженні змінними параметрами були параметри, які впливали на властивості бетону: водоцементне відношення, частка базальтового волокна у суміші та його довжина.

Незмінними параметрами залишались співвідношення цемент/пісок та витрата добавки для пришвидшення твердіння бетону Betodur A1.

Результати сучасних наукових досліджень [10-12] показують, що міцність БФБ визначається міцністю волокон та величиною їх анкерування, тобто безпосередньо залежить від довжини волокон. Отже, для підвищення ефективності використання базальтового волокна, потрібно визначити її оптимальну довжину.

Звичайно ж, визначити оптимальну довжину волокон можна розрахунковим способом, якщо знати силу зчеплення волокон з піщано-цементною матрицею та міцність волокон на розтяг. Враховуючи відсутність даних про силу зчеплення базальтового волокна з матрицею різного складу, теоретичний розрахунок буде доволі неточним [13]. Тому нами прийнято рішення застосувати шлях дослідного визначення оптимальної довжини базальтового волокна та визначення його впливу на міцність бетону. Для цього до складу бетонної суміші додавали базальтові волокна довжиною 8, 12, 16 та 20 мм. та порівнювали її фізико-механічні характеристики із сумішшю без базальтових волокон. Для всіх сумішей співвідношення Ц/П, витрата добавок, відсоток волокон та рухомість сумішей прийняті однаковими.

Таблиця 1. Витрата матеріалів на 1 м³ базальтофібробетонної суміші

Склад	Цемент, кг	Пісок, кг	Добавка Betodur A1, кг.	Базальтов і волокна, кг	В/Ц
А. Без волокон, без добавок	702	1404	-	-	0,39
Б. 3 волокнами, без добавок	661	1439	-	31,2	0,32
В. Без волокон, з добавками	624	1352	9,9	-	0,49
Г. 3 волокнами, з добавками	610	1217	9,15	30,5	0,38

Результати та аналіз впливу довжини волокон на зміну технологічних властивостей сумішей та основні фізико-технічні характеристики базальтофібробетонів показано в таблицях 2 і 3.

Таблиця 2. Вплив довжини волокна на фізико-технічні властивості базальтофібробетонів

Склад	Довжина волокна, мм.	В/Ц	Питома вага	R _{сг1} , МПа	R _{сг7} , МПа	R _{сг28} , МПа	R _{сг1} , МПа	R _{сг7} , МПа	R _{сг28} , МПа	R _{сг1} /R _{сг28} , %	R _{сг7} /R _{сг28} , %	R _{сг28} /R _{сг28} , %
А	-	0,39	2220	1,4	3,7	4,4	5,3	26,5	40	31,8	13,3	11
Б	8	0,51	2115	3,7	6,3	7,6	6,4	24,4	31,8	53,1	20,1	23,9
Б	12	0,51	2111	3,2	6,4	7,7	5,7	25,0	32,9	41,6	17,3	23,4
Б	16	0,51	2110	2,8	6,4	7,8	5,3	24,6	33,7	35,9	15,7	23,1
Б	20	0,5	2107	2,4	6,3	7,6	5,1	24,4	35,2	31,6	14,5	21,6
В	-	0,31	2251	3,3	6,2	7,2	15,5	48,3	65,1	45,8	23,8	11
Г	8	0,38	2177	5,5	9,6	12,1	15,5	41,2	54,7	45,4	10,1	22,1
Г	12	0,38	2181	5,2	9,7	11,8	14,8	40,7	54,8	44,1	8,8	21,5
Г	16	0,38	2180	4,7	9,9	12,7	14,5	40,3	55,5	37	8,1	22,9
Г	20	0,38	2173	4,2	9,5	12,2	14,3	39,5	53,8	34,4	8	22,7

Примітка: Наведені у таблиці значення показників отримано за даними випробувань в лабораторії ТОВ «Добробуд» (м. Тернопіль)

Аналіз результатів показав, що характер руйнування армованих базальтовим волокном зразків на відміну від неармованих, володіє пластичним характером руйнування, тоді як зразки без базальтового волокна руйнуються миттєво при досягненні руйнівного навантаження P_{max} . Характер руйнувань зразків базальтофібробетону з використанням волокон

різної довжини відмінний, тому для його оцінки фіксувався час від досягнення максимального навантаження до повного руйнування зразка. Застосування волокон довжиною 16 і 20 мм однаковою мірою збільшує період часу від максимального навантаження і появи першої тріщини до повного руйнування зразка у порівнянні з базальтофібробетоном з довжиною волокна 8 мм.

Таблиця 3. Зміна фізико-механічних властивостей базальтофібробетонів в залежності від довжини волокна

Склад	Довжина волокна, мм	Зміна $R_{зг}$, %			Зміна $R_{ст}^3$, %		
		1 доба	7 діб	28 діб	1 доба	7 діб	28 діб
А	-	-	-	-	-	-	-
Б	8	62,1	41,3	42,1	17	-7,9	-20,5
Б	12	56,2	42,2	42,9	7	-5,7	-17,8
Б	16	50	42,2	43,6	0	-7,9	-15,8
Б	20	41,7	41,3	42,9	-3,7	-7,2	-12
В	-	-	-	-	-	-	-
Г	8	40	35,4	40,5	0	-14,7	-20
Г	12	36,5	36,1	39	-4,5	-15,7	-15,8
Г	16	29,8	37,4	43,3	-6,5	-16,6	-14,7
Г	20	21,4	34,7	41	-7,7	-18,2	-17,4
Примітка: Наведені у таблиці значення показників отримано за даними випробувань в лабораторії ТОВ «Добробуд» (м. Тернопіль)							

Використання волокон довжиною 20 мм ускладнює процес змішування компонентів, оскільки виникають грудки з неперемішаних пучків волокон, вимагаючи додаткового часу на перемішування, додаткової кількості води. В процесі тривалого перемішування волокна можуть частково руйнуватись, внаслідок чого їх довжина може зменшуватись, і важко спрогнозувати фізико-механічні характеристики даних сумішей.

При використанні базальтових волокон довжиною 16 та 12 мм, отримуємо більш технологічні суміші без грудок та зруйнованих волокон.

Порівнюючи результати міцності на згин базальтофібробетонів відносно контрольних складів (без волокон), можна відзначити, що з часом для складу В характерне зниження приросту міцності, а для складу Г – навпаки, зростання.

Використання базальтових волокон у вибраному діапазоні довжин практично не впливає на зміну міцності на стиск – базальтофібробетони мають міцність нижчу від своїх контрольних складів.

Нами встановлена оптимальна довжина волокна 12-16 мм, при якій отримано високі фізико-технічні властивості для даної технології перемішування.

Надалі дослідним шляхом визначаємо оптимальну кількість фіброволокон у складі. Для випробовувань виготовлено партію зразків складу Г, в якому змінювали вміст базальтових волокон від 3 % до 10 % від маси цементу. Для всіх зразків В/Ц однакове і дорівнює 0,5, однакові витрати цементу, однакова довжина базальтового фіброволокна (14-15 мм). Вплив частки фіброволокна на міцність бетону на згин та стиск відображено в таблиці 4.

Таблиця 4. Вплив довжини волокон на технологічні та фізико-технічні властивості базальтофібробетонів

№ складу	В/Ц	Частка б.в., %	Питома вага	$R_{зг1}$, МПа	$R_{зг7}$, МПа	$R_{зг28}$, МПа	$R_{ст1}$, МПа	$R_{ст7}$, МПа	$R_{ст28}$, МПа	$R_{зг1}/R_{зг28}$, %	$R_{ст1}/R_{ст28}$, %	$R_{зг28}/R_{ст28}$, %
В	0,3	-	2251	3,3	6,2	7,2	15,5	48,3	65,1	45,8	23,8	11
Д	0,5	3	2205	3,9	6,7	8,0	12,7	43,3	53,2	48,8	23,9	15
Е	0,5	5	2159	4,56	7,8	9,1	11,7	40,7	49,9	50,1	23,4	18,2
Є	0,5	7	2111	4,7	9,6	11,5	11,0	37,2	47	46,5	23,4	21,4
Ж	0,5	9	2067	4,6	9,44	11,4	10,4	35,8	43,3	40,4	24,0	26,3
З	0,5	10	2002	4,43	9,38	10,7	9,8	31,4	39,6	41,4	24,7	25,3
Примітка: Наведені у таблиці значення показників отримано за даними випробувань в лабораторії ТОВ «Добробуд» (м. Тернопіль)												

При збільшенні частки базальтового фіброволокна з 3 % до 7 %, міцність фібробетону на стиск зростає, проте при подальшому збільшенні його частки понад 7 % від маси в'язучого, спостерігаємо спад міцності. Максимальною міцністю на згин характеризується БФБ з вмістом волокон 7% (таблиця 5).

Збільшення вмісту волокон понад 7 % утруднює його якісне змішування та потребує додаткової кількості води, відповідно додаткової кількості цементу для забезпечення необхідної змочуваності волокна цементним молоком.

Таблиця 5. Зміна фізико-механічних властивостей базальтофібробетонів в залежності від довжини волокна

№ складу	Зміна питомої ваги, %	Зміна R_{32} , %			Зміна R_{cm} , %		
		1 доба	7 діб	28 діб	1 доба	7 діб	28 діб
В	-	-	-	-	-	-	-
Д	-2,04	18,2	8,1	11,1	-18,1	-10,4	-18,3
Е	-4,79	38,2	25,8	26,4	-24,5	-15,7	-23,3
Є	-6,22	42,4	54,8	59,2	-29	-23,0	-27,8
Ж	-8,17	39,4	52,2	58,3	-32,9	-51,8	-33,5
З	-11,06	34,2	51,1	48,6	-36,7	-35,0	-39,2
Примітка: Наведені у таблиці значення показників отримано за даними випробувань в лабораторії ТОВ «Добробуд» (м. Тернопіль)							

При зростанні вмісту волокна в досліджуваному діапазоні міцність на стиск знижується до 39 %, яке викликане зростанням частки повітря в суміші (питома вага зменшується на 11,06 %).

Висновки

Проведений аналіз наукових джерел засвідчив, що базальтова фібра є ефективним армувальним компонентом для цементних композицій, який забезпечує підвищення міцності, тріщиностійкості та довговічності бетону завдяки високій адгезії волокон до цементного каменю та їхній стійкості до лужного середовища.

Експериментальні дослідження показали, що вплив базальтової фібри на міцнісні характеристики фібробетону суттєво залежить від довжини, діаметра та об'ємного вмісту волокон. Надмірна кількість фібри призводить до зниження рухливості суміші та нерівномірного розподілу волокон, що негативно впливає на структуру бетону.

Оптимальним для отримання максимальної міцності при стиску та згині визначено вміст базальтової фібри в межах 7 % від маси цементу при довжині волокон 12–18 мм і діаметрі 16–20 мкм. За цих параметрів відзначено приріст міцності при згині – до 50 % у порівнянні з контрольними зразками без фібри.

Встановлено, що застосування базальтової фібри сприяє зменшенню кількості та розмірів мікротріщин, забезпечує більш рівномірний розподіл напружень у бетоні та підвищує енергоємність руйнування матеріалу.

Для дрібнозернистих бетонів без крупного заповнювача рекомендовано застосовувати склади з вмістом цементу 400-430 кг/м³, водоцементним відношенням 0,45-0,50 та піском фракції 0-5 мм у кількості ≈1750-1800 кг/м³. Такі склади забезпечують добру технологічність і рівномірний розподіл базальтової фібри.

Результати дослідження можуть бути використані для розроблення технологічних рекомендацій з виробництва та застосування базальтового фібробетону у конструкціях підвищеної тріщиностійкості та довговічності, особливо в елементах, що зазнають динамічних або повторних навантажень.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Al-Kharabsheh, B. N., Arbili, M. M., Majdi, A., Alogla, S. M., Hakamy, A., Ahmad, J., & Deifalla, A. F. Basalt fiber reinforced concrete: A comprehensive review on durability aspects. *Materials*, 2023, 16, 429. <https://doi.org/10.3390/ma16010429>.
2. Solomonyuk, N. S., Kapiika, S. V., Dovzhenko, O. S., Serheieva, Ye. Ye. Glass and basalt fiber concrete for floating docks and other sea structures. In Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference "Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering". Mykolaiv, 2023. 145–150.
3. Zhao C., Zhu Z., Guo Q., Zhan Y., Zhao R. Research on fiber reinforced concrete and its performance prediction method and mix design method. *Construction and Building Materials*, 2023, 365, 130033. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130033>.
4. Vorokhaiev A., Barabash I., Ksonshkevych L., Kos Z., Grynyova I. Fine-grained Fiber Concrete on Mechanoactivated Portlandcement. *Croatian Regional Development Journal*, 2021, 2(1), 47-56. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/380640>
5. Zhou H., Jia B., Huang H., Mou Y. Experimental study on basic mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete. *Materials*. 2020, 13(6), 1362; <https://doi.org/10.3390/ma13061362>.
6. Chen C., Ding Y., Wang X., Bao L. Recent advances to engineer tough basalt fiber reinforced composites: A review. *Polym Compos.*, 2024, 45(14), 12559-12574. <https://doi.org/10.1002/pc.28711>.
7. Ksonshkevych L. M., Barabash I. V., Krantovska O. M., Synii S. V., Sunak P. O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 708, 1, 012092. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>.

8. DSTU B V.2.7-114-2002. Budivelni materialy. Sumishi betonni. Metody vyprobuvan. Kyiv, 2002.
9. DSTU B V.2.7-187:2009. Building materials. Cements. Methods of determination of bending and compression strength. Kyiv, 2010.
10. Doroshenko, O. Development of the principles of basalt fiber modification with the purpose of increasing the efficiency of its application in transport construction. *Transport Systems and Technologies*, 2022, (40), 14–22. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-2>.
11. Doroshenko, A. Studying the properties of fine-grained cement concrete using plasticizers and basalt fiber. *Collection of Scientific Papers of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 2023, 206, 72–82. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.206.2023.296773>.
12. Kroviakov S.O., Shestakova L.E. The influence of basalt fiber and superplasticizer on the strength of concrete for rigid pavements. *Modern construction and architecture*, 2023, 6, 99-108. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2023-6-99-108>.
13. Wu, H., Qin, X., Huang, X., & Kaewunruen, S. Engineering, mechanical and dynamic properties of basalt fiber reinforced concrete. *Materials*, 2023, 16(2), 623; <https://doi.org/10.3390/ma16020623>.

Література

1. Al-Kharabsheh, B. N., Arbili, M. M., Majdi, A., Alogla, S. M., Hakamy, A., Ahmad, J., & Deifalla, A. F. Basalt fiber reinforced concrete: A comprehensive review on durability aspects. *Materials*, 2023, 16, 429. <https://doi.org/10.3390/ma16010429>.
2. Соломонюк Н. С., Копійка С. В., Довженко О. С., Сергєєва Є. Є. Glass and basalt fiber concrete for floating docks and other sea structures. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Миколаїв, 2023. 145–150.
3. Zhao C., Zhu Z., Guo Q., Zhan Y., Zhao R. Research on fiber reinforced concrete and its performance prediction method and mix design method. *Construction and Building Materials*, 2023, 365, 130033. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130033>.
4. Vorokhaiev A., Barabash I., Ksonshkevych L., Kos Z., Grynova I. Fine-grained Fiber Concrete on Mechanoactivated Portlandcement. *Croatian Regional Development Journal*, 2021, 2(1), 47-56. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/380640>
5. Zhou H., Jia B., Huang H., Mou Y. Experimental study on basic mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete. *Materials*. 2020, 13(6), 1362; <https://doi.org/10.3390/ma13061362>.
6. Chen C., Ding Y., Wang X., Bao L. Recent advances to engineer tough basalt fiber reinforced composites: A review. *Polym Compos.*, 2024, 45(14), 12559-12574. <https://doi.org/10.1002/pc.28711>.
7. Ksonshkevych L. M., Barabash I. V., Krantovska O. M., Synii S. V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 708, 1, 012092. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>.
8. ДСТУ Б В.2.7-114-2002. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. Київ, 2002.
9. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск. Київ, 2010.

10. Doroshenko, O. Розробка принципів модифікації базальтового волокна з метою підвищення його ефективності. *Транспортні системи і технології*, 2022, (40), 14–22. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-2>.

11. Дорошенко А. Вивчення властивостей дрібнозернистих цементобетонів із використанням пластифікаторів і базальтового волокна. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 2023, 206, 72–82. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.206.2023.296773>.

12. Кровяков С. О., Шестакова Л. Є. Вплив базальтової фібри і суперпластифікатору на міцність бетонів жорстких дорожніх покриттів. *Modern construction and architecture*, 2023, 6, 99-108. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2023-6-99-108>.

13. Wu, H., Qin, X., Huang, X., & Kaewunruen, S. Engineering, mechanical and dynamic properties of basalt fiber reinforced concrete. *Materials*, 2023, 16(2), 623; <https://doi.org/10.3390/ma16020623>.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 05.11.2025	Received 05.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.11.2025	Received in revised form 12.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A. Y. Buyak

Ph.D. in Economy, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3756-6687>

Department transport and logistics

West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

A. O. Vitrovyi*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2885-3745>

Department transport and logistics

West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

P. V. Popovich

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

Department transport and logistics

West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

M. Y. Shpintal

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9864-7050>

Department computer science

West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

O. P. Zakharchuk

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

Department transport and logistics

West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

M. V. Buriak

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-1498>

Department transport and logistics

West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

*corresponding author, e-mail: vetroviy_a@ukr.net

Selection of optimal parameters of basalt fiber for increasing the strength of fiber-reinforced concrete

How to Cite:

Buyak, A. Y., Vitrovyi, A. O., Popovich, P. V., Shpintal M. Y., Zakharchuk O. P., Buriak M. V. (2025). Selection of optimal parameters of basalt fiber for increasing the strength of fiber-reinforced concrete. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 73-84. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-06](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-06)

Abstract. The article investigates the influence of the number and geometric parameters of basalt fibers on the strength characteristics of fiber-reinforced concrete and determines the patterns of changes in its main physical and mechanical properties. The aim of the work is to establish the optimal length of fibers and their volume content in the concrete matrix, which provide increased compressive, tensile and flexural strength. The relevance of the study is due to the need to increase the durability and crack resistance of concrete structures, especially under conditions of variable loads and aggressive environments, where traditional materials do not always provide the necessary reliability.

In the research process, Portland cement of the PC I-500 brand, quartz sand and granite rubble, as well as basalt fibers of various lengths (from 8 mm to 20 mm) in different ratios to the mass of cement were used. The research methodology involved the manufacture and testing of series of fiber-reinforced concrete samples in which the fiber parameters changed. The tests were carried out in accordance with current standards for determining compressive and flexural strength. For each composition, the average strength values, deviations and coefficient of variation were determined, which allowed us to assess the stability of the obtained results.

Experimental data show that the optimal use of basalt fibers with a length of 12 mm at a fiber content of 7.0% of the cement mass is optimal. It is with these parameters that an increase in tensile strength when bending is observed - up to 25% compared to control samples without fiber. When this content is exceeded, a deterioration in the homogeneity of the mixture and a decrease in strength due to fiber sticking are noted. The results obtained confirm the feasibility of using basalt fiber as an effective reinforcing component in the production of fiber-reinforced concrete structures of increased reliability and operational durability. The proposed recommendations can be used in the design of road surfaces, industrial floors, thin-walled panels and other structures subjected to dynamic loads.

Keywords: fiber-reinforced concrete, basalt fiber, mix optimization, concrete strength, fiber reinforcement.

УДК 528.414

О. В. Верешко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1892-1153>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, 43025

В. У. Волошин

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6586-2045>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Воли, 13, Луцьк, Україна, 43025

Д. А. Цицюк

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, 43025

*автор-фкореспондент, e-mail: o.vereshko@lutsk-ntu.com.ua

Створення планово-висотної геодезичної основи за допомогою електронного теодоліта DT-5

Цитувати як:

Верешко, О. В., Волошин, В. У., Цицюк, Д. А. (2025). Створення планово-висотної геодезичної основи за допомогою електронного теодоліта DT-5, *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 85-109. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-07)

© 2025, Верешко О. В., Волошин В. У., Цицюк Д. А.

Анотація. Геодезичне забезпечення є наріжним каменем будь-якого будівельного чи інфраструктурного проекту, оскільки воно фактично розпочинає процес будівництва. Цей комплекс робіт охоплює вимірювання земної поверхні за допомогою високоточних приладів, обчислення просторових даних, та подальше створення топографічного плану.

Основна функція геодезичних робіт полягає у наданні необхідної просторової інформації та геометричного контролю, що є критично важливим для забезпечення точності, відповідності об'єкта проектній документації та безпеки на будівельному майданчику. Геодезична основа на будівництві створюється ієрархічно для забезпечення точного переходу від державних координат до детальної розбивки елементів конструкції. Це багаторівневий підхід, який мінімізує накопичення похибок, і гарантує, що детальні геодезичні роботи завжди базуються на максимально точній основі, забезпечуючи високу якість і безпеку будівництва.

Необхідність математичної обробки вимірювань у геодезії та інженерній справі виникає через неминучість похибок у результатах вимірювань. Ці похибки призводять до того, що польові вимірювання не відповідають строгим геометричним умовам або теоретичним рівнянням, які описують об'єкт чи процес вимірювання. Точність вимірювань (наприклад, оцінена за допомогою середньоквадратичної похибки) повинна бути прямо узгоджена з допусками, які визначені у існуючій нормативній документації та проектній документації будівництва.

Математична обробка результатів вимірювань зазвичай здійснюється методом найменших квадратів і слугує для: забезпечення найбільш ймовірної та обґрунтованої оцінки вимірюваних величин; визначення надійності отриманих результатів; приведення виміряних величин у відповідність до геометричних рівнянь.

Підтримання високої якості та ефективності робіт на кожному етапі можливе лише за умови безперервного та точного геодезичного супроводу. В статті описано методику визначення координат пунктів геодезичної мережі оптико-електронними приладами та оцінку їх точності на прикладі будівельного майданчика.

Ключові слова: геодезичні роботи, інженерно-геодезичні вишукування, врівноваження, оцінка точності.

Вступ

Перед початком будь-яких робіт в будівництві виконують низку ключових вимірювань, необхідних для юридичного та просторового визначення ділянки будівельного чи інфраструктурного проєкту. Сюди слід віднести встановлення меж земельної ділянки та винесення їх в натуру. Оцінка будівельної ділянки вимагає проведення низки комплексних інженерних досліджень на підготовчому етапі. До цього комплексу входять інженерно-геодезичні, інженерно-геологічні, кліматологічні, метеорологічні та інші вишукування. Особливе значення мають інженерно-геодезичні дослідження, оскільки вони надають точні дані про рельєф і загальну ситуацію місцевості, фіксують розташування опорних точок та реперів, слугують незамінною основою як для проєктування майбутніх об'єктів, так і для самого процесу будівництва та подальшого моніторингу.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

Підготовчий етап будівництва передбачає ознайомлення з проєктною документацією, що включає будгенплан для підготовчого та основного періодів, а також пояснювальну записку. Будгенплан обов'язково повинен містити ситуаційні плани, на яких відображені знаки планово-висотної геодезичної основи. Усі матеріали, які передаються виконавцям робіт, повинні містити чіткі прив'язки до пунктів державної планової та висотної геодезичної мережі та відповідати встановленим вимогам щодо масштабу плану та геодезичних знаків [1-3].

Геодезичні роботи у будівництві являють собою комплекс організаційних, технологічних та технічних заходів, спрямованих на визначення просторового положення об'єктів, їх форм та розмірів, а також одержання геометричних, аналітичних та цифрових моделей. Це невід'ємна частина геодезичного забезпечення, що має на меті гарантувати відповідність геометричних параметрів об'єктів вимогам проєктної та нормативної документації. Головним нормативним документом, що

регулює ці процеси в Україні, є ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві», який встановлює загальні умови забезпечення точності та виконання робіт [4].

Необхідність математичної обробки вимірювань виникає через неминучість похибок у результатах, які роблять вимірювання несумісними з рівняннями, що виражають геометричні умови. Для керівників геодезичних служб та інженерів з якості критично важливо розуміти, що точність вимірювань повинна бути прямо пов'язана з граничними допусками, передбаченими проектною та існуючою нормативною документацією [5].

Сучасні потреби будівництва стимулюють застосування інноваційних технологій та методів виконання геодезичних робіт. Ці зміни зумовлені широким використанням електронних приладів і програмного забезпечення для автоматизації обробки геодезичних вимірів. На сьогоднішній день існує велика кількість новітніх геодезичних рішень, що є принципово іншими, ніж традиційні, де для кожного типу вимірювань використовувався окремий інструмент: теодоліт (кутові вимірювання), нівелір (висотні вимірювання) та рулетка/далекомір (лінійні вимірювання).

Для виконання кутових вимірювань в будівництві використовуються електронні теодоліти. Вони застосовуються як незалежні прилади в різних видах геодезичних робіт і оснащені функціями накопичення та збереження вимірної інформації для подальшої автоматизованої обробки. У світлі останніх тенденцій в розвитку геодезичного обладнання, цей прилад був суттєво модернізований. Поява електронного тахеометра стала результатом злиття та вдосконалення двох ключових геодезичних приладів: електронного теодоліта та світловіддалеміра, інтегрованих із мікропроцесорною технологією. Появу електронних тахеометрів можна вважати природним розвитком геодезичної техніки, пов'язаним із загальним розвитком приладобудування та електроніки. Як найбільш багатофункціональний геодезичний прилад, електронний тахеометр має широкий набір технологічних можливостей. Його впровадження дало змогу оперативно визначати координати необхідних точок на об'єкті за мінімальний час, усуваючи потребу у виконанні будь-яких допоміжних чи попередніх польових побудов [6].

Геодезичні роботи при будівництві – це комплекс заходів з вимірювання, обчислення та контролю параметрів земельної ділянки та майбутньої споруди для забезпечення точності, безпеки та відповідності проекту. Вони включають топографічну зйомку, розбивку осей будівлі, моніторинг деформацій, контроль монтажу конструкцій та підготовку відповідної документації. Ці роботи виконуються на всіх етапах будівництва – від проектування до здачі об'єкта в експлуатацію [7].

Електронний теодоліт є елементом сучасної інженерної та прикладної геодезії. Його ключова роль полягає у забезпеченні високоточних вимірювань горизонтальних та вертикальних кутів шляхом автоматизованого цифрового відліку, що кардинально знижує суб'єктивні похибки зчитування, які були неминучі при використанні оптико-механічних приладів [8].

Метою даної роботи є апробація роботи електронного теодоліта DT-5 при побудові топографічної основи для будівництва та прецизійна оцінка точності врівноваження геодезичних вимірювань.

Матеріали та методи

Геодезичні роботи на будівельному майданчику є фундаментальною основою для забезпечення точності геометричних параметрів споруд та їх подальшої експлуатаційної надійності. В Україні загальні правила проектування, виконання та приймання цих робіт встановлені Державними будівельними нормами (ДБН) В.1.3-2:2010 "Геодезичні роботи у будівництві". Ці норми застосовуються обов'язково під час усіх етапів будівництва, реконструкції та технічного переоснащення об'єктів будь-якого призначення.

Нормативна база геодезичної діяльності тісно пов'язана із законодавчою сферою. ДБН В.1.3-2:2010 містить прямі посилання на ключові закони, зокрема "Про метрологію та метрологічну діяльність" та "Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність", підкреслюючи необхідність метрологічної перевірки та сертифікації всього геодезичного обладнання та процесів.

На будівельному майданчику геодезична основа будується ієрархічно, забезпечуючи перехід від високоточних державних систем до детальної розбивки елементів конструкції. Ця ієрархія включає:

- Опорна геодезична мережа (ОГМ): Це первинна основа, яка має заданий клас точності. Вона може бути частиною державної геодезичної мережі (ДГМ), мережі згущення або спеціальної інженерно-геодезичної мережі. ОГМ служить базою для подальшого створення розмічувальної мережі будівельного майданчика.
- Геодезична розмічувальна мережа будівельного майданчика: Ця мережа створюється безпосередньо для перенесення проектних рішень у натуру, включаючи червоні лінії та будівельну сітку. Вона обов'язково прив'язується до ОГМ.
- Зовнішня геодезична розмічувальна мережа: Використовується для винесення основних розмічувальних осей споруди та виконання виконавчого знімання. Пункти цієї мережі є вихідними для розмічувальних робіт на нульовому циклі.

- Внутрішня геодезична розмічувальна мережа: Створюється на монтажних горизонтах (поверхах) для висотних будівель (понад дев'ять поверхів). Пункти внутрішньої мережі прив'язуються до пунктів зовнішньої мережі вихідного горизонту. Для будівель, що не перевищують дев'ять поверхів, створення внутрішньої мережі не є обов'язковим. Необхідність створення внутрішньої мережі для об'єктів висотністю понад дев'ять поверхів демонструє інженерно-технічний підхід до управління ризиками. Складність об'єктів, схильних до акумуляції помилок при вертикальному передаванні осей, а також необхідність контролю осідання та деформацій вимагають багаторівневого геометричного контролю. Внутрішня мережа не просто полегшує розмітку, але й є інструментом для контролю стабільності вертикального проектування осей та забезпечення співвісності вертикальних елементів (колон, панелей).

Створення планової геодезичної мережі передбачає використання методів, що забезпечують необхідний клас точності для прив'язки будівельної сітки. Державна планова геодезична мережа України (ДГМ) створювалася з використанням тріангуляції, трилатерації та полігонометрії. Геодезична мережа 1-го та 2-го класів служить основою для подальшого розвитку мереж. Сучасні методи та технології глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) дозволяють створювати планові мережі з високою ефективністю [6].

При виборі методу розвитку мережі необхідно керуватися вимогами до точності та умовами майданчика. Для великих, відкритих об'єктів GNSS/RTK є оптимальним для швидкого створення опорної мережі. Проте, якщо необхідна максимальна міліметрова точність на обмежених ділянках (наприклад, для монтажу високоточного технологічного устаткування) або в умовах перешкод (щільна забудова, високі конструкції), високоточна полігонометрія та використання вимірювальних станцій залишаються незамінними. Тому створення планової геодезичної мережі, як правило, передбачає застосування комбінованого методу: GNSS для зовнішньої прив'язки та високоточні наземні методи для згущення сітки в межах майданчика.

Якість кінцевих вимірювань кутів електронним теодолітом прямо залежить від ретельності підготовчого етапу. Ключові операції – точне центрування та горизонтування – мають вирішальне значення, оскільки неякісне їх виконання є причиною появи похибок центрування (ексцентриситету) та похибки нахилу вертикальної осі. Для досягнення

високої точності, необхідної для полігонометрії 1-2 розрядів, горизонтальні кути вимірюються способом прийомів. Збільшення кількості прийомів є основним методичним інструментом для зниження впливу випадкових похибок.

Основним показником якості вимірювання є середня квадратична похибка (СКП), яка відображає надійність результату. Для мереж, що містять надлишкові вимірювання, як-от триангуляційні або полігонометричні ходи, якість вимірювань горизонтальних кутів оцінюється за нев'язками f у трикутниках. Середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута обчислюється за відомою формулою Ферреро:

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{\sum f^2}{3n}} \quad (1)$$

СКП є статистичним підтвердженням якості вимірювань, що використовується для порівняння з допустимими значеннями та граничними нев'язками, які встановлені для різних класів робіт.

Метод найменших квадратів (МНК) є найбільш фундаментальним і єдиним математично обґрунтованим підходом для врівноваження геодезичних вимірювань. Його ключова властивість полягає в тому, що він дозволяє отримати найбільш ймовірні та незміщені оцінки вимірюваних параметрів.

Критерій МНК вимагає мінімізувати суму квадратів поправок до виміряних величин:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = [v^2] \rightarrow \min \quad (2)$$

Метод найменших квадратів дозволяє знайти єдиний розв'язок системи (2), причому він усуває появу великих поправок і для вимірювань поправки рівномірно розподіляються між результатами вимірювань. Сумісне врівноваження вимірюваних величин із використанням методу найменших квадратів є задачею на умовний екстремум, яку розв'язують двома шляхами. Перший полягає у знаходженні абсолютного екстремуму функції, де всі виміряні величини подаються у вигляді функцій від деяких незалежних і невідомих величин (параметрів). Даний підхід називається параметричним методом. Другий шлях полягає у заходженні умовного екстремуму функції із використанням методу Лагранжа, де фігурують невизначені множники (у геодезії їх називають корелатами). Цей підхід називають корелатним

методом. Обидва методи є еквівалентними, тобто вони є тільки різними підходами розв'язування однієї і тієї ж задачі, вони приводять до однакових результатів, але часто мають різну трудомісткість при розв'язанні однієї і тієї ж задачі. Крім зазначених двох способів врівноваження, існують і так звані комбіновані способи, що поєднують переваги одного й іншого [5].

Розглянемо результати вимірювань x_i ($i = \overline{1..n}$) горизонтальних кутів у геодезичній мережі, істинні значення яких дорівнюють X_i ($i = \overline{1..n}$). Серед n виміряних величин є k необхідних і $r = n - k$ – надлишкових. Наявність надлишкових виміряних величин приводить до появи r умов, яким повинні задовольняти виміряні значення x_i ($i = \overline{1..n}$). Ці умови запишемо у вигляді нелінійних рівнянь

$$\phi_j(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad j = \overline{1..r} \quad (3)$$

Якщо замість істинних значень X_i ($i = \overline{1..n}$) виміряних величин у рівняння (3) підставити їх результати вимірювань x_i ($i = \overline{1..n}$), то дані рівності строго виконуватись не будуть. У зв'язку з цим у правих частинах (3) з'являться величини w_j ($j = \overline{1..r}$) замість нулів, які називаються **нев'язками** і виникають за рахунок наявності похибок у результатах спостережень x_i ($i = \overline{1..n}$), тобто

$$\phi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = w_j \quad j = \overline{1..r} \quad (4)$$

Якщо у формулах (4) замість виміряних значень x_i ($i = \overline{1..n}$) розглянути врівноважені значення $x_i + v_i$ ($i = \overline{1..n}$), то поправки v_i ($i = \overline{1..n}$) повинні усунути невязки w_j ($j = \overline{1..r}$) і тоді матимемо:

$$\phi_j(x_1 + v_1, x_2 + v_2, \dots, x_n + v_n) = 0 \quad j = \overline{1..r} \quad (5)$$

Наведені рівняння у загальному випадку є нелінійними, і процедура розв'язування їх за методом найменших квадратів є складною. Тому їх лінеаризують, для чого функції ϕ_j ($j = \overline{1..r}$) розкладають у ряд Тейлора в околі точки $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ і, оскільки поправки v_i ($i = \overline{1..n}$) є малими, то обмежимося лінійними членами розкладу. У результаті отримаємо

$$\phi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \phi_j}{\partial x_i} \right) v_i = 0, \quad j = \overline{1..r} \quad (6)$$

Умовні рівняння поправок (6) можна подати у матричній формі:

$$AV + W = 0, \quad (7)$$

де A – матриця коефіцієнтів умовних рівнянь поправок, V – вектор поправок до результатів вимірювань, W – вектор нев'язок.

Розв'язок матричного рівняння (7) будемо шукати, використавши умову (2).

Початкову задачу врівноваження зведено до визначення екстремуму функції. Наведену задачу на умовний екстремум функції можна розв'язати методом Лагранжа, тобто вона зводиться до задачі на абсолютний екстремум нової функції

$$\Phi = V^T V - 2K^T (AV + W) \rightarrow \min \quad (8)$$

де K – вектор корелат.

Необхідною умовою мінімуму функції від багатьох змінних є рівність нулеві її часткових похідних або рівність нулеві її повного диференціалу першого порядку, тобто $d\Phi = 0$. Провівши нескладні математичні викладки отримаємо вектор поправок

$$V = A^T K. \quad (9)$$

Невідомий вектор корелат можна знайти за (11) розв'язавши наступне матричне нормальне рівняння корелат

$$AA^T K + W = 0. \quad (10)$$

$$K = -\left(AA^T\right)^{-1} W. \quad (11)$$

Результати та обговорення

На прилеглий території до майбутнього будівельного майданчика (рис. 1) було визначено дві точки планово-висотної мережі методом GNSS та вибрано ще дві точки для згущення мережі високоточними вимірюваннями електронним теодолітом DT-5. Координати точок наведені і табл. 1.

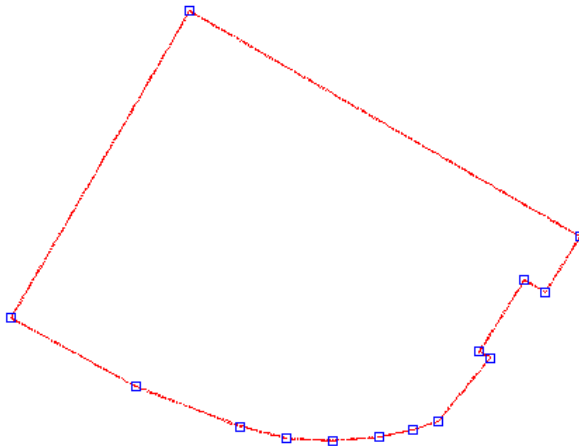
Таблиця 1. Координати точок планово-висотної мережі, отримані методом GNSS

№	X*	Y*	Z
T1	XX15655.054	XX12180.006	193.45
T2	XX15449.634	XX12243.157	190.46

*перші дві цифри координат приховано.



а)



б)

Рис. 1. Територія майбутнього будівельного майданчика (вул. Станіславського, м. Луцьк): а –фрагмент фотозображення сервісу <https://www.google.com/maps>; б – схема межі земельної ділянки.

В результаті на майбутньому будівельному майданчику утворилася опорна геодезична мережа у вигляді геодезичного чотирикутника.

Вимірювання геодезичного чотирикутника електронним теодолітом включало встановлення приладу у кожній вершині чотирикутника, центрування над точкою, вирівнювання і послідовне вимірювання всіх

горизонтальних, вертикальних кутів та відстаней між вершинами. Схема вимірювання показана на рис. 2.

Таблиця 2. Результати кутових вимірів отриманих електронним теодолітом

№ кута	значення кута	№ кута	значення кута
1	47° 59' 35"	5	35° 16' 55"
2	27° 50' 15"	6	40° 33' 00"
3	44° 02' 15"	7	47° 30' 10"
4	60° 07' 45"	8	56° 40' 10"

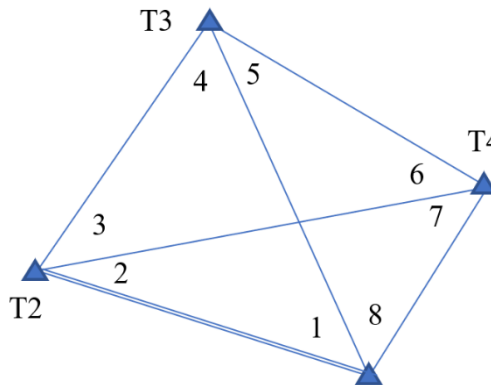


Рис. 2. Схема опорної геодезичної мережі.

Мережа тріангуляції містить 8 вимірних кутів, істинні значення яких є невідомими. Тому задача врівноваження зводиться до усунення нев'язок системі рівнянь (3), для чого потрібно знайти поправки до результатів вимірювань. Розв'язання даної задачі розглянемо за допомогою кореатного методу врівноваження [9].

Оцінка точності кутових вимірювань за нев'язками в трикутниках згідно формули Ферреро (2) становить

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[f^2]}{3n}} = 6.9'',$$

а допустима нев'язка в кожному з трикутників мережі становить:

$$w_{\text{доп}} = 2.5\sqrt{3} \cdot m_{\beta} = 27.6 = 29.7''$$

Маємо вихідне рівняння (10), де

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 24,47 & 0 & 0 & -14,09 & -1,99 & -24,61 & 19,29 & 5,51 \end{pmatrix}$$

$$W = \begin{pmatrix} -10 \\ 15 \\ 10 \\ 331,86 \end{pmatrix}$$

Вектор корелат обчислимо за формулою (11):

$$K = \begin{pmatrix} 2,17 \\ -4,85 \\ 1,97 \\ -0,25 \end{pmatrix}$$

Обчислення поправок проведемо із рівняння (9). Матимемо наступні поправки в горизонтальні кути:

$$V = \begin{pmatrix} -2,1 \\ 4,1 \\ 2,2 \\ 5,8 \\ -4,3 \\ -1,4 \\ -7,8 \\ -4,3 \end{pmatrix}$$

Точність результатів вимірювань за середньою квадратичною похибкою значення вимірюваного кута становить

$$m = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{r}} = \pm 6.3''.$$

Отже, на прилеглій території до майбутнього будівельного майданчика отримали опорну геодезичну мережу у вигляді геодезичного чотирикутника, координати точок якої наведені і табл. 3.

Таблиця 3. Координати точок планово-висотної мережі, отримані методом GNSS

№	X*	Y*	Z
T1	XX15655.054	XX12180.006	193.45
T2	XX15449.634	XX12243.157	190.46
T3	XX15555.818	XX12393.623	191.90
T4	XX15726.684	XX12295.756	192.98

*перші дві цифри координат приховано.

Таким чином, на досліджуваному об'єкті будівництва сформована опорна геодезична мережа із 4 точок, координати яких отримані GNSS-методом вимірювання та за допомогою лінійно-кутових вимірювань електронним теодолітом DT-5 з подальшою математичною обробкою за допомогою методу найменших квадратів з визначенням оцінки їх точності. Дана опорна геодезична мережа яка слугуватиме базою для подальшого створення розмічувальної мережі будівельного майданчика.

Висновки

Координати пунктів геодезичної основи будь-якого будівельного чи інфраструктурного проєкту визначають від функціонуючих пунктів державної геодезичної мережі різними технологіями вимірювань, такими як: триангуляція, трилатерація, полігонометрія, геометричне нівелювання, тригонометричне нівелювання, супутникові визначення координат. Найсучаснішим методом визначення координат об'єкта є GNSS-метод.

До складу геодезичних робіт, що виконуються на будівельному об'єкті, входять: побудова опорної геодезичної мережі, побудова зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі, побудова геодезичної розмічувальної мережі будівництва, детальне розмічування елементів будівництва, створення внутрішньої розмічувальної мережі на вихідному та монтажних горизонтах, виконавче знімання, вимірювання деформацій фундаментів та конструкцій будівель. Вимірювання виконують різними геодезичними приладами та методами.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Inzhenerni vyshukuvannya dlya budivnytstva DBN A.2.1-1-2014.. (2014) (Ukrayina). https://dbn.at.ua/_id/11/1167_DBNInzhenernivu.pdf.
2. Baran, P. I., Burak, Tretyak, K. R. (2011). Inzhenerno-heodezychni roboty v Ukraini. Visnyk heodeziyi ta kartohrafiyi, (5), 19-26
3. Ostrovs'kyi A.L. (2012) Heodeziya : pidruch. / A.L. Ostrovs'kyi, O.I. Moroz, V.L. Tarnavs'kyi ; za zah. red. N.L. Ostrovs'koho. 2-he vyd., vypr. L'viv : Vydavnytstvo L'vivs'koyi politekhniky. 564 s.
4. Systema zabezpechennya tochnosti heometrychnykh parametriv u budivnytstvi. Heodezychni roboty u budivnytstvi. DBN B V.1.3-2:2010. Zmina 1. (2010) (Ukrayina). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25911.
5. Zazulyak P. M., Havryk V. I., Yevseyeva E. M., Yosypchuk M. D. (2007) Osnovy matematychnoho opratsyuvannya heodezychnykh vymiryuvan'. L'viv: Rastr. 408 s.
6. A. Vivat, N. Nazarchuk, KH. Kryva (2018). Doslidzhennya tochnosti vyznachennya koordynat metodom GNSS u RTK ta PPP rezhymakh. U Zbirnyk materialiv mizhnar. nauk.-tekhn. konf. molodykh vchenykh «GeoTerrace – 2018» (S. 15–18.). L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi politekhniky.
7. Vykonannya vymiryuvan', rozrakhunok ta kontrol' tochnosti heometrychnykh parametriv. Nastanova. DSTU-N B V.1.3-1:2009 (2009). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25920.
8. Metrolohiya. Teodolity y takheometry. Metrolohichni ta tekhnichni vymohy K.: DP «UkrNDNTS» Ukrainy. DSTU 8955:2019 (2020). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86558
9. Yedyna systema dopuskiv i posadok. Terminy ta vyznachennya. Poznachennya i zahal'ni normy. DSTU 2500-94 (1994). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55979.

Література

1. Інженерні вишукування для будівництва ДБН А.2.1-1-2014.. (2014) (Україна). https://dbn.at.ua/_id/11/1167_DBNInzhenernivu.pdf.
2. Баран, П. І., Бурак, Третяк, К. Р. (2011). Інженерно-геодезичні роботи в Україні. Вісник геодезії та картографії, (5), 19-26

3. Островський А.Л. (2012) Геодезія : підруч. / А.Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський ; за заг. ред. Н.Л. Островського. 2-ге вид., випр. Львів : Видавництво Львівської політехніки. 564 с.
4. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. ДБН Б В.1.3-2:2010. Зміна 1. (2010) (Україна). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25911.
5. Зазуляк П. М., Гаврик В. І., Євсєєва Е. М., Йосипчук М. Д. (2007) Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань. Львів: Растр. 408 с.
6. А. Віват, Н. Назарчук, Х. Крива (2018). Дослідження точності визначення координат методом GNSS у RTK та PPP режимах. У Збірник матеріалів міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених «GeoTerrace – 2018» (С. 15–18.). Львів: Видавництво Львівської політехніки.
7. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів. Настанова. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 (2009). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25920.
8. Метрологія. Теодоліти й тахеометри. Метрологічні та технічні вимоги К.: ДП «УкрНДНЦ» України. ДСТУ 8955:2019 (2020). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86558.
9. Єдина система допусків і посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми. ДСТУ 2500-94 (1994). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55979.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O.V. Vereshko*

Ph.D. in Engineering, <https://orcid.org/0000-0002-1892-1153>
Department of building and civil engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska 75, Lutsk, Ukraine, 43018

V.U. Voloshyn

Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6586-2045>
Department of Geodesy, Land Management and Cadastre
Lesya Ukrainka Volyn National University, Voli ave., 13, Lutsk, Ukraine, 43025

D.A. Tsytsiuk

student pursuing a first (bachelor's) degree in higher education
Department of building and civil engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: o.vereshko@lutsk-ntu.com.ua

Creation of a planimetric and altimetric geodetic basis using a DT-5 electronic theodolite

How to Cite:

Vereshko, O.V., Voloshyn, V.U., Tsytsiuk D.A. (2025). Creation of a planimetric and altimetric geodetic basis using a DT-5 electronic theodolite, 24, 85-99. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-07)

Abstract. Surveying is the cornerstone of any construction or infrastructure project, as it effectively kicks off the construction process. This complex set of tasks includes measuring the earth's surface using high-precision instruments, calculating spatial data, and then creating a topographic plan.

The main function of surveying is to provide the necessary spatial information and geometric control, which is critical for ensuring accuracy, compliance of the object with the project documentation, and safety on the construction site. The geodetic basis in construction is created hierarchically to ensure an accurate transition from state coordinates to a detailed breakdown of structural elements. This is a multi-level process that minimizes the accumulation of errors and ensures that detailed surveying work is always based on the most accurate foundation possible, ensuring high quality and safety in construction.

The need for mathematical processing of measurements in geodesy and engineering arises due to the inevitability of errors in measurement results. These errors lead to field measurements not meeting strict geometric conditions or theoretical equations that describe the object or measurement process. The accuracy of measurements (e.g., estimated using the root mean square error) must be directly consistent with the tolerances specified in existing regulatory documentation and construction design documentation. Mathematical processing of measurement results is usually performed using the least squares method and serves to: ensure the most probable and reasonable estimate of the measured values; determine the reliability of the results obtained; bring the measured values into line with geometric equations.

Maintaining high quality and efficiency of work at each stage is only possible with continuous and accurate geodetic support. The article describes the methodology for determining the coordinates of geodetic network points using optoelectronic devices and evaluating their accuracy using the example of a construction site.

Keywords: geodetic works, engineering and geodetic surveys, alignment, accuracy assessment.

УДК 553.3:622.3

О. В. Верешко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1892-1153>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, 43018

М.А.Федонюк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4034-3695>

Кафедра екології

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, 43018

К. В. Ланцева

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Навчально-науковий інститут міжнародних відносин

Київський національний технічний університет ім. Т.Г.Шевченка, вул. Юрія Іллєнка, 36/1, 04050

І. В. Задорожнікова

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-75283>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: o.vereshko@lutsk-ntu.com.ua

Оцінка обсягів перетворення геологічного середовища у житловому та дорожньому будівництві Волинської області

Цитувати як:

Верешко, О. В., Федонюк, М.А., Ланцева, К.В., Задорожнікова, І.В. (2025). Оцінка обсягів перетворення геологічного середовища у житловому та дорожньому будівництві Волинської області. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 100-109. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-08)

© 2025, Верешко О. В., Федонюк М.А., Ланцева К.В., Задорожнікова І.В.

Волинська область характеризується відносно невисоким рівнем промислового освоєння, тому зміни середовища не настільки помітні, як у багатьох інших регіонах. Разом з тим, локальні антропогенні впливи також бувають досить сильними й сприяють перетворенню середовища та зародженню екологічних проблем.

В роботі оцінюються обсяги трансформації геологічного середовища, що супроводжують процеси житлового та дорожнього будівництва.

Окреслено основні напрямки впливу будівництва на геологічне середовище, включаючи як прямі, так і опосередковані дії: проведення земляних робіт, переміщення ґрунтових мас, добування будівельної сировини (пісків, глини, суглинків, крейди), використання матеріалів у різних технологічних процесах.

Проаналізовано паспорти родовищ, площі та обсяги видобутку будівельної сировини у Волинській області.

За кошторисами проектів будівництва багатоквартирних житлових будинків виокремлено середні питомі обсяги залучення ресурсів та матеріалів, що мають гірниче походження. Оцінено обсяги залучення цегли, піску, будівельних розчинів у розрахунку на квадратний метр житлової площі та сумарно на всю площу житлового фонду області. Окремо оцінено обсяги відповідних земляних робіт.

Також за відомими питомими обсягами земляних робіт для доріг різних категорій наведено розрахункові показники переміщення ґрунтів при дорожньому будівництві в цілому по області та за окремими районами.

Оцінено орієнтовні щорічні обсяги використання будівельної сировини та проведення земляних робіт, а також сумарні багаторічні значення, враховуючи орієнтовні терміни експлуатації гірничих родовищ, а також загальні площі побудованих споруд та протяжність лінійних автомобільних доріг різних категорій.

Отримані дані допускають ряд неточностей, припущень та усереднень, тому в подальшому повинні бути більш деталізовані та уточнені. Однак визначені основні масштаби та напрями перетворення геологічного середовища, пов'язаного із будівництвом, дозволяють обґрунтовано оцінити основні тенденції та загрози

Ключові слова: родовища, кар'єри, будівництво, перетворення, оцінка трансформації, геологічне середовище, Волинська область

Вступ

Будівництво є одним з найпомітніших чинників перетворення геологічного середовища. При його виконанні порушується верхній шар у результаті земляних робіт, риються котловани для фундаментів та комунікацій, відбувається ущільнення ґрунтів, зміна режиму ґрунтових вод, та найбільше – залучаються значні ресурси різноманітної будівельної сировини. Частина з цих ресурсів – місцеві (пісок, глина, цегла з місцевої глини, вапно, іноді щебінь), інші – привізні (цемент, бетонні і газоблоки, арматура тощо). Оцінка обсягів цих матеріалів допомагає зрозуміти основні напрямки та масштаби перетворення середовища та, відповідно, планувати їх раціональне використання як з техніко-економічної, так і з екологічної точки зору.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми

У науковій літературі є чимало підходів та оцінок ступеня перетворення природного середовища. Переважно це стосується в цілому ландшафтів, значно рідше – рельєфу чи геологічного середовища.

Л. Сорокіна аналізувала різні концептуальні підходи до перетворення ландшафтів та акцентувала на необхідності дослідження впливу промислових об'єктів на ландшафти як швидкої, так і повільної дії. Перші «як правило, цілеспрямовані або ж навпаки, небажані катастрофічні впливи, другі – переважно непрогнозовані віддалені у часі, „відгуки” на такі впливи»

[1]. Вказується також на необхідності визначення екоємності техногенно перетворених ландшафтів та методики оцінки ризиків для них [1].

Досить популярною є оцінка перетвореності ландшафтів за К. Гофманом, яка удосконалена П. Шищенком, що враховує ранг антропогенної перетвореності території певним видом природокористування; площу рангу (y %); індекс глибини перетвореності ландшафтів; кількість видів у межах контуру регіону [1].

Ранг антропогенної перетвореності змінюється від 1 для заповідних територій до 10 для земель промислового використання, а індекс глибини перетворень – від 1,0 до 1,5 відповідно. За такою методикою здійснено чимало регіональних оцінок, наприклад [2], [3] в т.ч. з поєднанням ГІС-аналізу землекористування [4]. Така формула також зазнавала різних модифікацій, залежно від регіональних особливостей досліджень. Так, наприклад, І. Койнова модифікувала цю формулу для регіону Полісся, С. Уєвич – конкретно для меліорованих земель Волинської області, ввівши індекси глибини антропогенної трансформації водного режиму та атмосфери [5].

Втім, такі оцінки стосуються в цілому природних комплексів та, більшою мірою, їх видимої частини.

Безпосередньо щодо перетвореності геологічного середовища є низка робіт Г. Рудька, В. Стецюка. Наприклад, у [6] ці автори детально розглянули основні прямі та опосередковані наслідки від гірничопромислової діяльності як шахтним, так і відкритим способом, з формуванням пустот, кар'єрів, відвалів, териконів, просідань, засолення тощо.

Схожі оцінки по Волинській області є у працях Л. Чижевської [7], З. Карпюк [8], І. Залеського та Ф. Зузука [9]. У праці «Екологічна геологія» [10] знаходимо кілька різних підходів до оцінки саме геологічного середовища.

Дослідники зазначають, що є методи, які засновані на прямих кількісних оцінках еколого-геологічного стану формуючих геологічне середовище компонентів (літосфера, підземні води, геологічні явища), на оцінці сприятливості геологічного середовища для господарського освоєння та на комплексній нероздільній по середовищах оцінці.

При цьому серед тематичних критеріїв комплексного підходу пропонуються й біотичні, біохімічні, зоологічні, ґрунтові, біомедичні та ін., не всі з яких мають прямий безпосередній вплив на геологічну основу.

Об'єктивно простіше оцінити просторові відмінності впливу. Серед них виділяють площинні критерії, інженерно геологічну оцінку, динамічні критерії.

Серед динамічних основним є збільшення площі порушення за рік, від задовільного до 1%, до катастрофічного – більше 5% тощо.

Матеріали та методи

У своїй роботі ми застосовували елементи кількох зазначених вище підходів, залежно від наявності та доступності відповідної вихідної інформації. Також було використано й попередню нашу роботу щодо оцінки впливу кар'єрів [11].

Вихідними матеріалами слугували статистичні дані Держуправління статистики у Волинській області, кошторисні проекти окремих будівництв багатоквартирних будинків, статистичні дані ДП Геоінформ (в т.ч. дані по розробці кар'єрів будівельної сировини), Державні будівельні норми, звіти з оцінки впливу на довкілля вибраних ДПТ.

Результати та обговорення

Для житлового та дорожнього будівництва в області використовують як місцеву сировину (пісок, супіски, суглинки, крейду), так і привізну. Місцева розробляється відкритим способом у відповідних родовищах.

Всього налічується більше 100 різних родовищ, але більшість з них зараз не розробляються. Після ознайомлення із паспортами родовищ виокремлено дані щодо досліджуваних активних зараз кар'єрів. Сумарна площа досліджуваних об'єктів становить 342,26 га. Найбільші обсяги річного видобутку сировини на Радосинському родовищі пісків становлять 120 тис. м³ на рік, середні обсяги найчастіше фіксуються на рівні від 15-20 до 40-50 тис. м³ на рік. Загальний обсяг річного видобутку у Волинській області становить 420,1 тис м³/рік.

Загалом, вплив активних родовищ є незначним і локальним. Але беручи до уваги отримані дані, можемо оцінити орієнтовний обсяг видобутку за весь час їх розробки, тоді по області цей показник складе біля 8,403 млн м³.

Ми проаналізували кілька кошторисних проектів різних будівель, звідки можна приблизно оцінити питомі витрати різних ресурсів. Наприклад, для сучасного цегляного будинку на 130 квартир, площею 6800м² кошторисні витрати складають:

- Цегла – 2 млн.шт. (85% місцева) або 3900 м³
- Розчин цементний – 2200 м³ (цемент привізний, пісок місцевий – 1400м³)
- Розчин бетонний – 1120 м³ (місцева сировина – 730 м³)
- Пісок – 1230 м³ (місцева сировина)
- Вилучення верхнього шару – 700-1330м³
- Щебенево-піщана суміш – 170м³ (120 м³ - місцева)

Відповідно можна оцінити, що на 1 м² житла витрачається місцевих ресурсів:

- цегли (сировина – глина) – $3900 / 6800 = 0,57 \text{ м}^3$
- піску (на розчини, суміші та в чистому вигляді) = $(1400+730+1230+120) / 6800 = 0,51 \text{ м}^3$

- переміщується $1100/6800 = 0,16 \text{ м}^3$ землі.

Якщо поррахувати щорічні обсяги введення житла в експлуатацію на рівні 200 тис.м², то річне залучення ресурсів на будівництво складе:

цегли – 114 тис. м³, піску – 102 тис. м³. Тобто, сумарно залучається 116 тис. м³, а переміщується в результаті земляних робіт 32 тис. м³ землі.

Враховуючи, що загальна площа житлового фонду області 25,5 млн.м², (http://www.lutsk.ukrstat.gov.ua/6_1.htm), можемо поррахувати, що сумарне залучення за всі роки будівництва становить:

цегли – 14, 535 млн м³, піску – 13,0 млн м³. Тобто, сумарно залучено 27,5 млн м², а переміщено 4,08 млн м³ землі.

Окремої статистики по промисловому будівництву у нас немає, але є орієнтовне співвідношення обсягів виконаних робіт, яке становить 1:7 (промислове до цивільного у нашій області, за даними lutsk.ukrstat.gov.ua/B_1.htm).

Відповідно, попередні обсяги будуть збільшені на 15%, і разом це складе 31, 63 млн м³, а переміщення землі становитиме 4,7 млн м³.

Дорожнє будівництво

Довжина мережі автомобільних доріг загального користування області складає 6195,3 км, у тому числі з твердим покриттям 1795,7 км доріг державного значення і 4371 км – дороги місцевого значення. [12].

У складі доріг державного значення:

- 321,3 км – дороги міжнародного значення; (I)
- 189,9 км – національні дороги; (II)
- 241,7 км – регіональні дороги; (III)
- 1042,8 км територіальні дороги. (IV)

У складі доріг місцевого значення 2107,5 км – обласні дороги і 2263,5 км – районні дороги (V).

Автомобільні магістралі державного та міжнародного значення, що проходять через територію регіону: М-07 «Київ – Ковель – Ягодин», М-19 «Доманове (на Брест) – Ковель – Чернівці – Теребляче» (на Бухарест), Н-22 «Устилуг – Луцьк – Рівне»

Виходячи з показників необхідних обсягів земляних робіт для доріг різних категорій (ДБН В.2.3-4:2015), можемо поррахувати орієнтовні обсяги переміщення матеріалу при будівництві доріг:

Для першої категорії:

$$321,3 \cdot 75 = 24097,5 \text{ тис. м}^3$$

Для другої категорії:

$$189,9 \cdot 40 = 7596 \text{ тис. м}^3$$

Для третьої категорії:

$$241,7 \cdot 22,5 = 5438,25 \text{ тис. м}^3$$

Для четвертої категорії:

$$1042,8 \cdot 15 = 15642 \text{ тис. м}^3$$

Для п'ятої категорії:

$$4399,6 \cdot 15 = 65994 \text{ тис. м}^3$$

Беручи до уваги дані орієнтовних обсягів земляних робіт, ми порахували приблизні обсяги переміщення речовини при будівництві доріг по районах Волинської області.

По районах ситуація виглядатиме так (таблиця 1).

Таблиця 1. Розраховані орієнтовні обсяги перетворення середовища при будівництві доріг

Район	Довжина доріг, км	Орієнтовні обсяги переміщення ґрунтів, тис. м ³
Луцький	1215,5	18235,5
Володимирський	756,3	11344,5
Ковельський	1637,1	24556,5
Камінь-Каширський	762,1	11431,5

Всього при будівництві доріг місцевого значення - 65 568 тис. м³.

Таким чином, загальні об'єми перетворення геологічного середовища при будівництві доріг можна оцінити у 118 341,23 тис. м³, найбільші значення – у Ковельському районі, найменші – у Володимирському районі.

Висновки

До основних напрямків перетворення геологічного середовища при будівництві відноситься видобуток, переміщення і використання будівельної сировини та земляні роботи.

Розробка будівельної сировини у Волинській області зараз ведеться на площах кілька сотень гектарів, а всього кар'єрами порушено біля 5-10 тис.га земель. Середні річні обсяги видобутку у кар'єрах – біля 420 тис.м³. Сумарний видобуток за час розробки можна оцінити у 8 млн.м³, а з урахуванням вже відпрацьованих кар'єрів – у 15-20 млн.м³.

Сумарні об'єми перетворення геологічного середовища при будівництві доріг області можна оцінити у 118,3 млн. м³, найбільші значення – у Ковельському районі, найменші – у Володимирському районі.

Щорічне залучення будівельних матеріалів з місцевої сировини при будівництві становить біля 116 тис.м³, а переміщується в результаті земляних робіт 32 тис. м³ землі. Підраховані сумарні обсяги за попередні періоди становлять більше 30 млн м³, а переміщення землі – 4,7 млн м³.

Наведені оцінки ґрунтуються на ряді спрощень та узагальнень, тому, звичайно, потребують подальших уточнень і деталізації. Разом з тим, вони дозволяють зрозуміти масштаби та співвідношення основних напрямків перетворення середовища, що може бути використано для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті та за наведеними посиланнями.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Sorokina, L. YU. (2009) Kontseptual'ni zasady doslidzhennya landshaftiv, shcho perebuvayut' pid vplyvom tekhnohennykh ob'ektiv. UHZH, №1. 3-8.
2. Mal'chykova, D. S. (2008) Rehional'ni zakonomirnosti peretvorenosti pryrodnoho seredovyscha Khersons'koyi oblasti. Chasopys sotsial'no-ekonomichnoyi heohrafiyi: mizhrehion. zb. nauk. prats', 5(2). 181-187.
3. Potapova A.H. (2011) Rehional'ni zakonomirnosti peretvorenosti pryrodnykh ahrolandshtativ Volyns'koyi oblasti. Naukovyy visnyk Volyns'koho natsional'noho universytetu imeni Lesi Ukrayinky. Fizychna heohrafiya. 9, 29-33.
4. Sinna, O. I. (2013) HIS-analiz antropohennoyi peretvorenosti landshaftiv Zmiyivs'koho rayonu Kharkivs'koyi oblasti. Problemy bezperervnoyi heohrafichnoyi osvity i kartohrafiyi, 17. 52-56.
5. Uyevyeh, S. D. (2021) Transformatsiya landshaftiv Volyns'koyi oblasti pid vplyvom osushuval'noyi melioratsiyi. (Dysertatsiya kandydata heohrafichnykh nauk (doktora filosofiyi) zi spetsial'nosti 11.00.11 – konstruktyvna heohrafiya i ratsional'ne vykorystannya pryrodnykh resursiv). Volyns'kyy natsional'nyy universytet imeni Lesi Ukrayinky. Luts'k.
6. Rud'ko, H. I.; Stetsyuk, V. V. (2014) Heomorfologichna otsinka vynyknennya ekoloho-heohrafichnykh problem, pov'yazanykh iz vydobuvannyam mineral'noyi syrovyny. Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektyvy investuvannya. Materialy Pershoho naukovo-praktychnoho seminaru. 163-168.
7. Chyzhevs'ka L. T. (2016) Suchasnyy stan i perspektyvy ratsional'noho vykorystannya porushenykh zemel' u Volyns'kiy oblasti. Seriya «Heohrafichni nauky». 15(340). 26-30.

8. Karpyuk Z. K. (2012) Ekolohichnyy stan ta osoblyvosti antropohennoyi transformatsiyi polis'kykh landshaftiv Volyni. Fizychna heohrafiya ta heomorfologiya. 1(65). 71-82.
9. Zuzuk F. V., Zales'kyi I.I. (2013) Antropohenna transformatsiya rel'yefu v mezhakh Volyns'koyi ta Rivnens'koyi oblastey. U Pryroda Zakhidnoho Polissya ta prylehlykh terytoriy: zb. nauk. pr. 10 (S. 3-8). Luts'k. Volyn. nats. un-t im. Lesi Ukrayinky.
10. Korzhnev M.M. (Red.). (2005). Ekolohichna heolohiya: pidruchnyk. Kyiv. VPTS «Kyivskyy universytet».
11. Lantseva K., I. Kovalchuk, V. Fedoniuk, O. Andriichuk, O. Vereshko, S. Uzhehov. (2022). Tools and Criteria for Regional Environmental and Geological Monitoring of Open-Pit Mines (Case Of Volyn Polissya, Nw Ukraine). Conference Proceedings, 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2022, Volume 2022, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580260>.
12. Lohistychna Volyn'. (15.09.2025). Investytsiynyy portal Volyns'koyi oblasti. <http://invest.volyn.ua/ua/Volin-logistichna.html>

Література

1. Сорокіна, Л. Ю. (2009) Концептуальні засади дослідження ландшафтів, що перебувають під впливом техногенних об'єктів. УГЖ, №1. 3-8.
2. Мальчикова, Д. С. (2008) Регіональні закономірності перетвореності природного середовища Херсонської області. *Часопис соціально-економічної географії: міжрегіон. зб. наук. праць*, 5(2). 181-187.
3. Потапова А.Г. (2011) Регіональні закономірності перетвореності природних агроландшафтів Волинської області. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Фізична географія*. 9, 29-33.
4. Сінна, О. І. (2013) ГІС-аналіз антропогенної перетвореності ландшафтів Зміївського району Харківської області. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*, 17. 52-56.
5. Уєвич, С. Д. (2021) *Трансформація ландшафтів Волинської області під впливом осушувальної меліорації*. (Дисертація кандидата географічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 11.00.11 – конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів). Волинський національний університет імені Лесі Українки. Луцьк.
6. Рудько, Г. І.; Стецюк, В. В. (2014) Геоморфологічна оцінка виникнення еколого-географічних проблем, пов'язаних із видобуванням мінеральної сировини. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали Першого науково-практичного семінару*. 163-168.
7. Чижевська Л. Т. (2016) Сучасний стан і перспективи раціонального використання порушених земель у Волинській області. *Серія «Географічні науки»*. 15(340). 26-30.

8. Карпюк З. К. (2012) Екологічний стан та особливості антропогенної трансформації поліських ландшафтів Волині. *Фізична географія та геоморфологія*. 1(65). 71-82.
9. Зузук Ф. В., Залеський І.І. (2013) Антропогенна трансформація рельєфу в межах Волинської та Рівненської областей. У *Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. пр.* 10 (С. 3-8). Луцьк. Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки.
10. Коржнев М.М. (Ред.). (2005). *Екологічна геологія: підручник*. Київ. ВПЦ «Київський університет».
11. Lantseva K., I. Kovalchuk, V. Fedoniuk, O. Andriichuk, O. Vereshko, S. Uzhehov. (2022). Tools and Criteria for Regional Environmental and Geological Monitoring of Open-Pit Mines (Case Of Volyn Polissya, Nw Ukraine). *Conference Proceedings, 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2022*, Volume 2022, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580260>
12. Логістична Волинь. (15.09.2025). Інвестиційний портал Волинської області. <http://invest.volyn.ua/ua/Volin-logistichna.html>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O.V. Vereshko*

Ph.D. in Engineering, <https://orcid.org/0000-0002-1892-1153>
Department of building and civil engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska 75, Lutsk, Ukraine, 43018

M.A. Fedoniuk

Ph.D. in Geographical sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4034-3695>
Department of Environmental sciences
Lutsk National Technical University, Lvivska 75, Lutsk, Ukraine, 43018

K.V. Lantseva

student pursuing a first (bachelor's) degree in higher education
Educational and Scientific Institute of International Relations
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Illenka str., 36/1, 04050

I. V. Zadorozhnikova

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-75283>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: o.vereshko@lutsk-ntu.com.ua

Assessment of the extent of geological environment transformation in residential and road construction in the Volyn region

How to Cite:

Vereshko O.V., Fedoniuk M.A., Lantseva K.V., Zadorozhnikova I.V. (2025). Assessment of the extent of geological environment transformation in residential and road construction in the Volyn region. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 100-109. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-08)

Abstract. The Volyn region is characterized by a relatively low level of industrial development, so changes in the environment are not as noticeable as in many other regions. At the same time, local anthropogenic influences can also be quite strong and contribute to the transformation of the environment and the emergence of environmental problems.

This paper assesses the extent of transformation of the geological environment accompanying the processes of housing and road construction.

The main areas of impact of construction on the geological environment are outlined, including both direct and indirect actions: earthworks, soil displacement, extraction of construction raw materials (sand, clay, loam, chalk), and the use of materials in various technological processes.

The passports of deposits, areas, and volumes of extraction of construction raw materials in the Volyn region are analyzed.

Based on the estimates of construction projects for multi-apartment residential buildings, the average specific volumes of resources and materials of mining origin are identified. The volumes of bricks, sand, and building mortars used per square meter of living space and in total for the entire living space of the region have been estimated. The volumes of corresponding earthworks have been estimated separately.

Also, based on the known specific volumes of earthworks for roads of various categories, estimated indicators of soil movement during road construction were provided for the region as a whole and for individual districts.

The approximate annual volumes of construction raw materials used and earthworks carried out, as well as the total multi-year values, were estimated, taking into account the approximate terms of operation of mineral deposits, as well as the total area of constructed structures and the length of linear motorways of various categories.

The data obtained contain a number of inaccuracies, assumptions, and averages, so they need to be further detailed and refined. However, the main scales and directions of transformation of the geological environment associated with construction have been determined, allowing for a reasonable assessment of the main trends and threats.

Keywords: deposits, quarries, construction, transformation, transformation assessment, geological environment, Volyn region

УДК 624.154.7

О. Т. Гнатюк*

к.т.н., доцент, ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2218-0295>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівський район, Львівська область, Україна, 80381

В. М. Максимович

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0043-6333>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівський район, Львівська область, Україна, 80381

Т. Ю. Осадчук

к.т.н., в.о. доцента, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2218-0295>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівський район, Львівська область, Україна, 80381

Ю. М. Фабрика

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1745-1356>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019

*автор-кореспондент, e-mail: OTHnatiuk@ukr.net

Експериментально-теоретичне дослідження роботи буронабивних мікропаль на дію вертикальних вдавлюючих навантажень

Цитувати як:

Гнатюк, О. Т., Максимович, В. М., Осадчук, Т. Ю., Фабрика, Ю. М. (2025). Експериментально-теоретичне дослідження роботи буронабивних мікропаль на дію вертикальних вдавлюючих навантажень. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 110-122. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-09](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-09)

© 2025, Гнатюк О. Т., Максимович В. М., Осадчук, Т. Ю. Фабрика Ю. М.

Тривалий період у науково-дослідній лабораторії кафедри будівельних конструкцій ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького виконувались експериментальні дослідження несучої здатності буронабивних залізобетонних паль з поширеною п'ятою, розроблених та впроваджених у реальну практику разом з ПП "БКФ"Основа" протягом останніх 10-15 років [1-6].

Відповідно до існуючих методик теоретичного розрахунку несуча здатність паль в цілому залежить від двох складових: від опору ґрунту основи під її нижнім кінцем (п'ятою) та від тертя по боковій поверхні її ствола [7]. З метою експериментальної перевірки цієї залежності на експериментальному полігоні

кафедри будівельних конструкцій було виготовлено 3 дослідних зразки мікропаль МП-1, МП-2 та МП-3. Всі досліджувані зразки були виготовлені у попередньо пробурених методом шнекового буріння свердловинах діаметром 200 мм з глибиною закладання 3 м, але різної конструкції.

Мікропаль МП-1 була виготовлена без поширення з влаштуванням в забій еластичної подушки товщиною 100 мм; МП-2 - з поширеною п'ятою діаметром 350 мм, також з влаштуванням під нею еластичної подушки товщиною 100 мм; МП-3 - в обсадній інвентарній трубі діаметром 200 мм, з поширеною п'ятою діаметром 350 мм без еластичної подушки.

Експериментальні дослідження виконувались за схемою статичного вертикального вдавлення способом ступінчасто-зростаючого навантаження [8]. За критерій міцності було прийняте вертикальне переміщення верхнього оголовка експериментальних зразків мікропаль більше ніж на 4 см. У результаті було встановлено, що згідно такого критерію несуча здатність становила 52,5кН для мікропалі МП-1, 57,5кН – для МП-2, 85кН – для МП-3.

Був проведений також теоретичний розрахунок осідання дослідних зразків мікропаль відповідно до вказівок [7]. Виконаний порівняльний аналіз даних на основі таблиць і графіків показав, що несуча здатність (деформативність) за даними експерименту на 29% для МП-1, 32% для МП-2, і 37,5% для МП-3 перевищує результати теоретичного розрахунку.

Ключові слова: експериментальні дослідження, теоретичний аналіз, буронабивні палі, вдавлюючі навантаження, опір ґрунту, тертя по боковій поверхні.

Вступ

У будівництві здавна використовують різні види пальових фундаментів, де застосовуються палі різного типу. Пальові фундаменти зарекомендували себе більш надійними в експлуатації, ніж фундаменти на природній основі. Надійні рішення для проектування будівель і споруд з пальовими фундаментами залежать від правильності визначення несучої здатності паль. У багатьох випадках необхідно визначати їх несучу здатність по бічній поверхні та під подошвою.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Несучу здатність паль у сучасній будівельній практиці визначають різними способами, залежно від стадії розроблення проекту [9]. У початковій стадії проектування несучу здатність фундаментів визначають за фізико-механічними характеристиками ґрунтів розрахунковим методом. На стадії розроблення робочого проекту в основному застосовують польові контрольні випробування паль статичними навантаженнями [9,10].

Визначення несучої здатності паль і пальових фундаментів за властивостями ґрунтової основи розрахунковими методами виконують за розрахунком із використанням формул і табличних значень розрахункового опору ґрунту під нижнім кінцем і на бічній поверхні палі згідно з додатком Н та із застосуванням математичного моделювання роботи палі спільно з ґрунтовою основою [7].

Розрахунковий метод для визначення несучої здатності висячих набивних і бурових паль із вертикальними гранями оснований на застосуванні формули Н 3.1 [7], яка визначає складові загальної несучої здатності фундаменту, виготовленого без виймання ґрунту, за рахунок опору підшви фундаменту та опору тертя за бічною поверхнею.

Польові контрольні випробовування паль при будівництві проводять з метою перевірки відповідності несучої здатності паль розрахунковим навантаженням, які встановлені у проекті пального фундаменту [8]. Метод випробовування паль статичними навантаженнями полягає в ступінчастому завантаженні фундаменту вертикальним (горизонтальним, моментним) навантаженням і вимірюванні при цьому відповідної деформації [7,8].

Дослідженнями А. О. Бартоломея, Б. В. Бахолдіна, І. П. Бойка, В. Н. Голубкова, А. Л. Готмана, А. О. Григорян, Б. І. Далматова, А. А. Луги, Ю. Ф. Тугасенка та О. В. Новського, А. Bouafia, R. Katzenbach, G. Meyergof та ін. з тензопаллями встановлені закономірності розвитку розподілу сил тертя вздовж бічної поверхні й під вістрям зі збільшенням навантаження аж до руйнування основи [11]. Характер розподілу сил тертя за бічною поверхнею залежить від ґрунтів основи, жорсткості і довжини палі. Підшва одиночних паль включається в роботу на перших же ступенях навантаження, та до повного включення сил тертя за бічною поверхнею частка навантаження, що сприймає вістря, зростає несуттєво. Після досягнення осідань, при яких сили тертя максимальні, частка навантаження на вістря поступово збільшується. При цьому опір всієї палі практично незмінний [12].

Провідними фахівцями ПП БКФ “Основа” спільно з кафедрою будівельних конструкцій ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького були розроблені і впроваджені у виробництво буронабивні залізобетонні мікропалі з поширеною п’ятою. Авторами статті були досліджені мікропалі різної конструкції: зі зміною довжини, армування, діаметру стовбура, поширення, способу виготовлення тощо. Для дослідження їх реальної роботи були проведені польові випробовування на об’єктах будівництва у різних ґрунтових умовах та проаналізовано їх розрахункову та експериментальну несучу здатність [3-6].

Проведений аналіз літературних джерел показав, що останнім часом була проведена велика кількість досліджень роботи різних видів паль у різних ґрунтових основах із визначенням їх несучої здатності і деформативності. Аналогічні дослідження буронабивних залізобетонних мікропаль з поширеною п’ятою, залежно від двох складових їх несучої здатності: опору ґрунту основи під їх п’ятою та сил тертя по боковій поверхні її ствола, приведені у цій статті [7].

Мета і завдання дослідження. Метою проведених досліджень є вивчення роботи натурних зразків залізобетонних буронабивних мікропаль з поширеною п’ятою та без неї, зокрема, для окремих складових загальної

несучої здатності: по бічній поверхні та під підшвою паль. Завданням описаних у статті досліджень є виготовлення дослідних зразків, польові натурні випробування їх на дію вертикального вдавлюючого навантаження, опрацювання результатів досліджень, експериментально-теоретичне обґрунтування роботи мікропаль такого типу на дію вертикальних вдавлюючих навантажень та залежності її несучої здатності від різних складових.

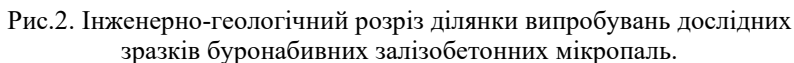
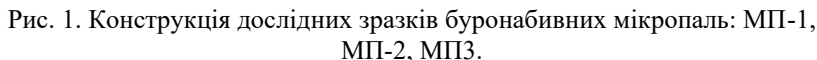
Матеріали та методи

Методикою досліджень передбачено виготовлено 3-х дослідних зразків буронабивних залізобетонних мікропаль МП-1, МП-2 та МП-3 та експериментально-теоретичне дослідження їх роботи в ґрунтових умовах випробувального полігону лабораторії кафедри будівельних конструкцій ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького на дію вертикальних вдавлюючих навантажень. Всі досліджувані зразки були виготовлені у попередньо пробурених методом шнекового буріння свердловинах діаметром 200 мм з глибиною закладання 3 м.

Мікропаль МП-1 була виготовлена без поширення з влаштуванням в забій еластичної подушки товщиною 100 мм; МП-2 - з поширеною п'ятою діаметром 350 мм, також з влаштуванням під нею еластичної подушки товщиною 100 мм; МП-3 - в обсадній інвентарній трубі діаметром 200 мм, з поширеною п'ятою діаметром 350 мм без еластичної подушки (рис. 1).

Бетонування паль виконували литим бетоном класу С 20/25 після встановлення у неї арматурних каркасів з поздовжніх стержнів Ø12 класу А 400 С на всю довжину палі та поперечної арматури з дроту Ø6 класу А 240 С з кроком 150 мм.

Згідно результатів інженерно-геологічних досліджень на випробувальному полігоні лабораторії кафедри будівельних конструкцій, несучою основою для паль служили такі ґрунти: шар ІГЕ - 2 – суглинок тугопластичний та шар ІГЕ - 3 супісок пластичний (рис. 2). Інженерно-геологічні характеристики для ґрунту шару ІГЕ - 2: природна вологість $W = 0,17$, число пластичності $I_p = 0,076$, показник текучості $I_L = 0,415$, щільність $\rho = 1,66 \text{ т/м}^3$, коефіцієнт пористості $e = 0,933$, ступінь вологості $S_r = 0,88$, об'ємна вага $\gamma_t = 16,6 \text{ кН/м}^3$, кут внутрішнього тертя $\varphi_t = 17^\circ$, питоме зчеплення $c_t = 15 \text{ кПа}$, модуль деформації $E = 8,5 \text{ МПа}$; для шару ІГЕ - 3: $W = 0,22$, $I_p = 0,06$, $I_L = 0,3$, $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$, $e = 0,7$, $S_r = 0,85$, $\gamma_t = 18,0 \text{ кН/м}^3$, $\varphi_t = 22,5^\circ$, $c_t = 14 \text{ кПа}$, $E = 21 \text{ МПа}$. Підземні води на розвіданій



Польові експериментальні дослідження дослідних зразків мікропаль проводилося згідно з вимогами [8] за схемою статичного вертикального

вдавлення. Навантаження на палі прикладалося монотонним способом ступінчато зростаючим статичним вдавлюючим навантаженням ступенями, згідно програми випробувань, але не більше 1/10 заданого найбільшого навантаження на палю, до значення, при якому загальне переміщення оголовка палі становило не менше 40 мм. Всі дані на кожному ступені навантаження фіксувались у журнал випробувань. В результаті були побудовані графіки осідання дослідних зразків, згідно яких експериментально визначена несуча здатність становила 52,5, 57,5 та 85,0 кН, відповідно для мікропаль МП-1, МП-2 та МП-3 (рис.3).

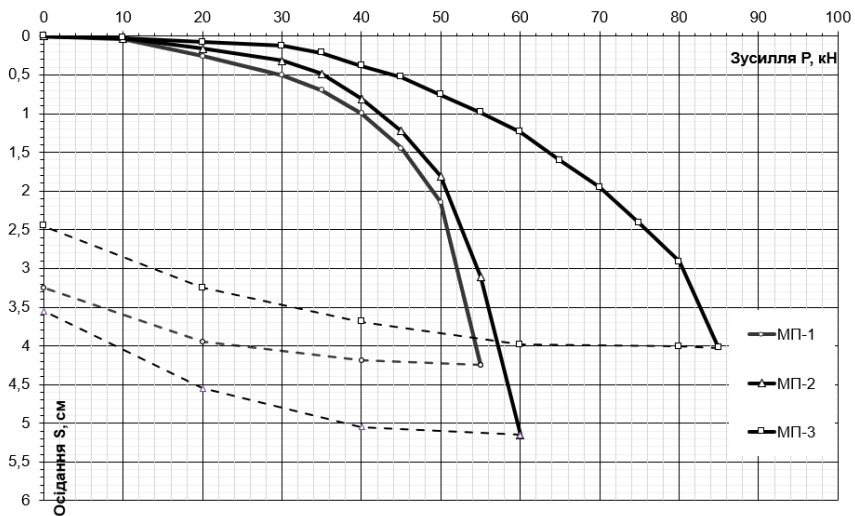


Рис. 3. Графік залежності осідання палі s (мм) від прикладеного навантаження P (кН).

Результати та обговорення

Визначення несучої здатності дослідних зразків буронабивних залізобетонних мікропаль з поширенням теоретичним методом проводилися за методикою діючих в Україні нормативних документів [7,8]. Визначення осідань мікропаль на кожному етапі ступінчато зростаючого статичного навантаження при проведенні експериментальних досліджень виконувалось способом розв'язанням задачі про переміщення стрижня в пружному півпросторі за додатком П [7].

Згідно розрахунку за формулою Н 2.3 [7] теоретично встановлена несуча здатність для мікропаль МП-1, МП-2 та МП-3 становила 33,63, 33,02

та 49,84 кН відповідно. Згідно розрахунку осідання одиночної палі під дією вертикального навантаження за формулою П.1.1 [7] несуча здатність для дослідних зразків МП-1, МП-2 та МП-3 буде становити 40,9, 40,7 та 61,5. У цьому випадку, як і для експериментальних досліджень для визначення несучої здатності приймається критерій, коли приймається значення навантаження на передостанній ступені при осіданні палі, рівному 40 мм.

Порівняння осідання дослідних зразків мікропалі, отриманих за результатами експериментальних досліджень та визначених теоретично, представлена у таблиці 1, а несучої здатності та допустимого навантаження на палю – у таблиці 2.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків осідання одиночної палі

Навантаження P , кН	Осідання, мм						Відношення S_e/S_t		
	Визначені експериментально, S_e			Розраховані теоретично, S_t					
	МП-1	МП-2	МП-3	МП-1	МП-2	МП-3	МП-1	МП-2	МП-3
0	0	0	0	0	0	0			
10	0,35	0,27	0,21	0,61	0,64	0,5	1,74	2,37	2,38
20	2,54	1,58	0,75	3,18	3,34	1,43	1,25	2,11	1,91
30	5,04	3,14	1,25	10,33	10,85	4,11	2,05	3,45	3,28
35	6,95	4,85	2,15	18,07	18,97	5,51	2,60	3,91	2,56
40	9,99	8,11	3,85	33,05	34,7	8,29	3,31	4,28	2,15
45	14,48	12,25	5,25	69,71	73,2	12,35	4,81	5,98	2,35
50	21,45	18,07	7,58			16,65			2,20
55	42,5	31,05	9,85			22,25			2,26
60		51,5	12,38			33,58			2,71
65			16,05			50,51			3,15
70			19,55			76,15			3,90
75			24,15						
80			29,15						
85			40,25						

Таблиця 2. Результати експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків

Показник	МП-1	МП-2	F_{d2}/F_{d1} (N_{d2}/N_{d1})	МП-3	F_{d3}/F_{d1} (N_{d3}/N_{d1})
Несуча здатність, кН: Експериментальна, F_{de} Теоретична (за формулою Н 2.3 [4]), F_{dt} Теоретична (за осіданням згідно формули П.1.1 [4]), F_{dt}^s	54,4 33,63 40,95	57,2 33,02 40,67	1,05 0,98 0,99	84,9 49,84 61,9	1,56 1,48 1,51
Допустиме навантаження, кН: Експериментальне, N_{de} Теоретичне, N_{dt} Теоретичне, N_{dt}^s	45,33 24,02 29,05	47,67 23,59 29,05	1,05 0,98 0,99	70,75 35,6 44,21	1,56 1,48 1,51
Відношення F_{de}/F_{dt} F_{de}/F_{dt}^s	1,62 1,33	1,73 1,41		1,70 1,37	
Відношення N_{de}/N_{dt} N_{de}/N_{dt}^s	1,89 1,55	2,02 1,64		1,99 1,6	

Одиночну палю у складі фундаменту і поза ним за несучою здатністю ґрунтів основи слід розраховувати з умови: $N < N_d = F_d/\gamma_k$, де N_d - розрахункове навантаження, що допускається на палю при визначенні їх кількості в пальному фундаменті; F_d - несуча здатність палі за властивостями ґрунтової основи; γ_k - коефіцієнт надійності, рівний 1,4 у випадку, якщо несуча здатність визначена за розрахунком і рівний 1,2 у випадку, коли несуча здатність визначена за результатами польових випробувань ґрунтів статичним навантаженням [7,8].

Висновки

З метою вивчення роботи залізобетонних буронабивних мікропаль з поширеною п'ятою та без неї, зокрема, для окремих складових загальної несучої здатності: по бічній поверхні та під подошвою паль було проведено польові випробування 3-х дослідних зразків мікропаль діаметром 200 мм з глибиною закладання 3 м: МП-1 без поширення з влаштуванням в забій

еластичної подушки товщиною 100 мм; МП-2 - з поширеною п'ятою діаметром 350 мм, також з влаштуванням під нею еластичної подушки товщиною 100 мм; МП-3 - в обсадній інвентарній трубі діаметром 200 мм, з поширеною п'ятою діаметром 350 мм без еластичної подушки.

Отримані в результаті експериментальних та теоретичних досліджень дані, приведені в статті, дають можливість попередньо оцінити реальну несучу здатність буронабивних залізобетонних мікропалів.

Польові експериментальні дослідження дослідних зразків мікропалів проводилося згідно з вимогами [8] за схемою статичного вертикального вдавлювання.

Теоретично несуча здатність визначалася розрахунком за формулою Н 2.3 [7] та за осіданням одиночної палі під дією вертикального навантаження за формулою П.1.1 [7] з критерієм осідання паль, що не перевищує 40 мм.

Осідання одиночної палі, отримані на всіх етапах ступінчато зростаючого статичного навантаження в результаті теоретичного розрахунку перевищували експериментальні їх значення в $1,25 \div 4,81$ рази для дослідного зразка МП-1, в $2,11 \div 5,98$ рази для МП-2 та в $1,91 \div 3,9$ рази для МП-3. Причому по мірі зростання навантаження перевищення також зростало, що свідчить про недостатнє врахування пластичної складової осідання.

Експериментальні значення несучої здатності в усіх випадках мають більші значення ніж визначені теоретично: в 1,62 при розрахунку за формулою власне несучої здатності та в 1,33 рази при розрахунку за осіданням одиночної палі для дослідного зразка МП-1; в 1,73 та 1,41 рази відповідно для МП-2; в 1,7 та 1,37 рази для МП-3. Відповідні значення для допустимого навантаження на палю становлять: 1,89 та 1,55 для МП-1; 2,02 та 1,64 рази для МП-2; 1,99 та 1,6 рази для МП-3. Проектування фундаментів з врахуванням експериментально визначених даних у перспективі дає можливість приймати більш економічні рішення.

Несуча здатність дослідних зразків мікропалів МП-1 та МП-2, що забезпечується тертям по боковій поверхні її ствола, є практично однаковою, тоді як несуча здатність МП-3, що забезпечується опором ґрунту основи під її нижнім кінцем, перевищує значення для МП-1 в 1,56 та 1,48 (1,51) рази відповідно для експериментальних даних і для теоретичного розрахунку. Такий факт вимагає приділити більшу увагу цій компоненті

несучої здатності при проектуванні буронабивних залізобетонних мікропаль з поширеною п'ятою.

Проведені дослідження вказують на необхідність удосконалення методів теоретичного розрахунку несучої здатності буронабивних залізобетонних мікропаль із застосуванням математичного моделювання їх роботи сумісно з ґрунтовою основою.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Hnatiuk, O. T., Onyskiv, B. M., & Mazepa, O. M. Declarative Patent for Invention No. 2003109615 Ukraine. Bored Micropile with an Enlarged Base. 4 p., ill.; published 26.05.2004, Bulletin No. 5.2.
2. Fabryka, Yu. M., Hnatiuk, O. T., & Lapchuk, M. A. Utility Model Patent No. 151365. IPC E02D 5/54 (2006.01). Ukraine. Published 13.07.2022, Bulletin No. 28. 2 p.
3. Hnatiuk, O., Lapchuk, M., Kosarchyn, V., Mazurak, A., Fabryka, Y. Definition of the bearing capacities of drilled reinforced concrete micropiles by the results of field tests. AIP Conference Proceedings, 2023, 2949(1), 020008.
4. Hnatiuk, O. T., Lapchuk, M. A., & Fabryka, Yu. M. Bearing capacity of bored reinforced concrete micropiles with different enlargement diameters according to field test results. *Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli i sporudy*, Rivne, 2022, pp. 167–174.
5. Hnatiuk, O., & Lapchuk, M. Bearing capacity of bored reinforced concrete micropiles with compacted toe under vertical loading. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo*, 2014, No. 15, pp. 101–104.
6. Hnatiuk, O., Lapchuk, M., & Kholod, P. Bearing capacity of bored micropiles with enlarged base in soils of different types. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo*, 2014, No. 15, pp. 73–79.
7. DBN V.2.1-10-2009. Foundations and Geotechnical Structures. Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 2009. 104 p. (State standard of Ukraine).

8. DSTU B V.2.1–95 (GOST 5686-94). Soils. Methods of Field Testing with Piles. Kyiv: Ukrarkhbudinform, State Committee of Ukraine for Urban Development and Architecture, 1997. 57 p. (State standard of Ukraine).
9. Zotsenko, M. L., Kovalenko, V. I., Khilobok, V. H., & Yakovlev, A. V. Engineering Geology. Soil Mechanics, Foundations and Footings: Textbook. Kyiv: Vyshcha Shkola, 2004. 562 p.
10. Parfentieva, I. O., Vereshko, O. V., & Husachuk, D. A. Foundations and Geotechnics. Textbook for students of specialty 192 “Civil Engineering”. Lutsk: LNTU, 2017. 296 p.
11. Kapshiienko, Yu. Yu., Kapshiienko, A. V., & Blashchuk, N. V. Determination of the bearing capacity of friction piles along the shaft. *XLVI Scientific and Technical Conference of Subdivisions of Vinnytsia National Technical University (2017)*, Vinnytsia, 2017. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-ftetgp/index/pages/view/zbirn2017>
12. Bartolomei, A. A., Omelchak, I. M., & Yushkov, B. S. Prediction of Settlements of Pile Foundations. Moscow: Stroiizdat, 1994. 384 p.

Література

1. Гнатюк О.Т., Ониськів Б. М., Мазепа О. М. Деклараційний патент на винахід № 2003109615 Україна. Бурунабивна мікропалля з поширеною п'ятою. 4 С. Іл.; опубл. 26.05.04, бюл. № 5.
2. Фабрика Ю. М., Гнатюк О. Т., Лапчук М. А. Патент на корисну модель № 151365. МПК E02D 5/54 (2006.01). Україна, опубл. 13.07.2022, Бюл. № 28. 2с.
3. Hnatiuk, O., Lapchuk, M., Kosarchyn, V., Mazurak, A., Fabryka, Y. Definition of the bearing capacities of drilled reinforced concrete micropiles by the results of field tests. AIP Conference Proceedings, 2023, 2949(1), 020008.
4. Гнатюк О.Т., Лапчук М.А., Фабрика Ю.М. Несуча здатність бурунабивних залізобетонних мікропалль з різними діаметрами поширення за результатами їх польових випробовувань. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі і споруди (збірник наукових праць)*. Рівне, 2022. С. 167-174. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i42.019>.
5. О. Гнатюк, М. Лапчук. Несуча здатність бурунабивних залізобетонних мікропалль з ущільненим забоем на дію вертикального навантаження. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2014. №15. С. 101 - 104.
6. Гнатюк О., Лапчук М. Холод П. Несуча здатність бурунабивних мікропалль з розширеною п'ятою у ґрунтах різного типу. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво*. Львів, 2014. №15. С.73-79.
7. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 104 с.
8. Ґрунти. Методи польових випробувань палями ДСТУ Б В.2.1– 95 (ГОСТ 5686-94). Київ: Укрархбудінформ. Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 57 с.
9. Зоценко М. Л., Коваленко В. І., Хілобок В. Г., Яковлев А. В. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти : підручник. Київ : Вища школа, 2004. 562с.

10. Парфентьева И. О., Верешко О. В., Гусачук Д. А. Основы та фундаменти. Навчальний посібник для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія. Луцьк: ЛНТУ, 2017. 296с.

11. Капшієнко Ю. Ю., Капшієнко А. В., Блашук Н. В. Визначення несучої здатності паль тертя по боковій поверхні. *Матеріали конференції «XLVI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2017)»*, Вінниця, 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/index/pages/view/zbirn2017>

12. Бартоломей А.А., Омельчак І. М., Юшков Б. С. Прогноз осідання паливових фундаментів. Москва : Стройиздат, 1994. 384 с.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 16.11.2025	Received 16.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 20.11.2025	Received in revised form 20.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O. T. Hnatiuk*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2218-0295>

Department of building structures

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, V. Velykiho St., 1, Dublyany, Lviv district, Lviv region, Ukraine, 80381

V. M. Maksymovych

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0043-6333>

Department of building structures

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, V. Velykiho St., 1, Dublyany, Lviv district, Lviv region, Ukraine, 80381

T. Yu. Osadchuk

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2218-0295>

Department of building structures

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, V. Velykiho St., 1, Dublyany, Lviv district, Lviv region, Ukraine, 80381

Yu. M. Fabryka

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1745-1356>

Department of construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15, Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 7601

*corresponding author, e-mail: OTHnatiuk@ukr.net

Experimental and theoretical study of the operation of bored micropiles under the action of vertical compressive loads

How to Cite:

O. T. Hnatiuk, V. M. Maksymovych, T. Yu. Osadchuk, Yu. M. Fabryka (2025). Experimental and theoretical study of the operation of bored micropiles under the action of vertical compressive loads. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 110-122. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-09](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-09)

Abstract. For a long period, the research laboratory of the Department of Building Structures of the LNUVMB named after S. Z. Gzhitsky carried out experimental studies of the load-bearing capacity of drilled reinforced concrete piles with a spread heel, developed and implemented in real practice together with PP "BKF" Osnova" during the last 10-15 years [1-6].

In accordance with the existing methods of theoretical calculation, the load-bearing capacity of piles in general depends on two components: on the resistance of the soil of the base under its lower end (heel) and on the friction on the side surface of its trunk [7]. In order to experimentally verify this dependence, 3 prototypes of MP-1, MP-2 and MP-3 micropiles were manufactured at the experimental range of the Department of Building Structures. All studied samples were made in pre-drilled wells by the auger drilling method in wells with a diameter of 200 mm with a depth of 3 m, but of different construction.

The MP-1 micropile was manufactured without propagation with an elastic pillow 100 mm thick inserted into the butt; MP-2 - with a spread heel with a diameter of 350 mm, also with the arrangement of an elastic cushion under it with a thickness of 100 mm; MP-3 - in a casing inventory pipe with a diameter of 200 mm, with a common heel with a diameter of 350 mm without an elastic cushion.

Experimental studies were carried out according to the scheme of static vertical indentation by the method of step-increasing loading [8]. The vertical movement of the upper head of the experimental samples of micropiles by more than 4 cm was accepted as a strength criterion. As a result, it was established that according to this criterion, the load-bearing capacity was 52.5kN for micropiles MP-1 and 57.5kN for MP-2, 85kN for MP-3.

A theoretical calculation of the settlement of experimental samples of micropiles was also carried out in accordance with the instructions [7]. A comparative analysis of data based on tables and graphs showed that the load-bearing capacity (deformability) according to the experimental data exceeds the theoretical calculation results by 29% for MP-1, 32% for MP-2, and 37.5% for MP-3.

Keywords: experimental studies, theoretical analysis, bored piles, compressive loads, soil resistance, friction on the side surface.

УДК 624.012.45

Є. А. Дмитренко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9737-943X>

Кафедра будівництва

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, Київ, Україна, 03041

Н. О. Костира

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5934-9563>

Кафедра будівництва

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, Київ, Україна, 03041

М. В. Усенко

к.т.н., старший викладач, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1969-1265>

Кафедра будівництва

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, Київ, Україна, 03041

Д. О. Денисенко

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6556-6159>

Кафедра будівництва

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, Київ, Україна, 03041

*автор-кореспондент, e-mail: zdmитrenko26@gmail.com

Вплив швидкості прикладання навантаження на параметри зчеплення арматури з бетоном при чисельних та експериментальних випробуваннях

Цитувати як:

Дмитренко, Є. А., Костира, Н. О., Усенко, М. В., Денисенко, Д. О. (2025). Вплив швидкості прикладання навантаження на параметри зчеплення арматури з бетоном при чисельних та експериментальних випробуваннях. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 123- 142. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-10](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-10)

© 2025, Дмитренко Є.А., Костира Н.О., Усенко М.В., Денисенко Д.О.

Зчеплення арматури з бетоном є основним фактором, який забезпечує сумісну роботу цих двох матеріалів, що критично впливає на несучу здатність, жорсткість та довговічність залізобетонних конструкцій. Незважаючи на велику значущість зчеплення, загальну теорію зчеплення досі не побудовано. Ця ситуація обумовлена великою кількістю взаємозалежних факторів, які систематизовано на сім основних груп (включаючи геометричні та фізичні параметри арматури/бетону, вид НДС, деформаційні параметри, тріщинозчепленість, корозію та вплив середовища). Дослідження також базується на аналізі класичних законів зчеплення (ступінчастий закон Г. Рема, пружнопластичний закон І. Гійона, нормальний закон М. Холмянського, емпіричний закон С. Мирзи і Д. Хауда, модель ВРЕ), які аналітично описують зв'язок між дотичними напруженнями та відповідними деформаціями зсуву. Обґрунтовується необхідність вивчення

динамічних впливів (ударів, вибухів, сейсміки), віднесених до складних видів напружено-деформованого стану, що є критично важливим в умовах повномасштабної війни в Україні.

Метою дослідження є встановлення та аналіз впливу швидкості прикладання навантаження (loading rate) на ключові параметри зчеплення, а також оцінка ефективності сучасних чисельних та аналітичних моделей для прогнозування поведінки залізобетонних конструкцій під екстремальними динамічними впливами. Дослідження ґрунтується на узагальненні результатів експериментальних випробувань на висмикування (pull-out test) у квазістатичному (0,1 мм/с) та динамічному (до 100 мм/с, або значно вище при вибухах) режимах, а також чисельному моделюванні.

Результати підтверджують, що підвищення швидкості прикладання навантаження є значущим фактором, який призводить до збільшення міцності зчеплення. Динамічний коефіцієнт збільшення (DIF) для максимальних напружень зчеплення (τ_{bmax}) може сягати близько 1,5 у порівнянні зі статичним навантаженням. При високих швидкостях деформації, характерних для вибухових впливів (до або вище), явна міцність матеріалів може значно зростати. При вищій швидкості навантаження ефективна довжина анкерування зменшується, оскільки зусилля концентруються ближче до навантаженого кінця стержня. При цьому типи руйнування (висмикування, висмикування після досягнення межі текучості, розрив стержня) залишаються аналогічними статичним випробуванням.

Встановлено, що експериментальні дослідження зчеплення демонструють доволі високу мінливість результатів через гетерогенність бетону: коефіцієнт варіації може сягати до 18% для максимального напруження зчеплення та 23% для відповідного проковзування.

Чисельне моделювання динамічної поведінки зчеплення включає дискретні методи (наприклад, Slide Line Contact Model, CBISF у «LS-DYNA»), моделі на основі Concrete Damage-Plastic (CDP) та аналітичні моделі, модифіковані динамічним коефіцієнтом збільшення зчеплення (DIF) або моделлю шаруватого перерізу (EI_{eq}) для вибухового аналізу. Встановлено, що чисельні моделі, калібровані на динамічних експериментальних даних, забезпечують адекватне прогнозування поведінки конструкцій під екстремальними впливами.

Ключові слова: зчеплення арматури з бетоном, швидкість прикладання навантаження, динамічні навантаження, динамічний коефіцієнт збільшення зчеплення (DIF), вибухові впливи, анкерування, проковзування, випробування на висмикування.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Зчеплення арматури з бетоном є основним фактором, який забезпечує сумісну роботу цих двох матеріалів і забезпечує несучу здатність, жорсткість, тріщиностійкість та довговічність залізобетонних конструкцій [1]. Однак не дивлячись на велику значущість цього процесу, загальну теорію зчеплення арматури з бетоном, яка б задовольняла основним вимогам інженерів-проектувальників, досі не побудовано [2]. Ця ситуація обумовлена результатами численних досліджень, які свідчать, що зчеплення залежить

від дуже великої кількості різних факторів [3]. Врахувати їх спільний вплив при моделюванні взаємодії арматури з бетоном є вкрай складним, а іноді — навіть неможливим [1]. Саме через багатфакторність даного процесу у більшості випадків інженерної практики розглядають лише середні напруження зчеплення [3].

Згідно класифікації, представленої у роботі [4] фактори та параметри, які впливають на зчеплення арматури з бетоном можна систематизувати на сім основних груп:

1. *Параметри армування (геометричні)*: діаметр, площа та периметр робочої арматури, площа конструктивної арматури хомутів та тип профілю (періодичний або гладкий).

2. *Параметри армування (фізичні, клас арматури)*: розрахунковий та характеристичний опір на розтяг/стиск, модуль пружності.

3. *Параметри бетону (фізичні, клас бетону)*: тип бетону (важкий, середньої щільності, легкий), розрахунковий та характеристичний опір на стиск/розтяг, а також розрахунковий, характеристичний та усереднений модуль пружності.

4. *Вид напружено-деформованого стану (НДС)*: згинальний/крутний момент, центральний/позацентровий стиск/розтяг, плоский НДС, складні види НДС, а також динамічні впливи (від руху кранів, обладнання, сейсмічні/вибухові впливи) та температурні впливи.

5. *Деформаційні параметри*: прийняті діаграми деформування бетону та арматури, усереднені деформації.

6. *Тріщиностійкість*: тип тріщин (нормальні, похилі, просторові), момент утворення тріщин, коефіцієнт урахування роботи розтягнутого бетону, ширина розкриття та глибина розповсюдження тріщин, відстань між тріщинами.

7. *Корозія та вплив середовища*: величина захисного шару бетону, корозія арматурних стержнів та бетону, зменшення пороутворення, вплив агресивного та/або температурного середовища.

Теоретичні основи зчеплення арматури з бетоном базуються на законах або залежностях зчеплення, які являють собою аналітичне описання зв'язку між дотичними напруженнями і відповідними деформаціями зсуву [1]. Серед найбільш відомих законів зчеплення є розроблені свого часу ступінчастий закон Г. Рема, пружнопластичний закон І. Гійона, нормальний закон Холмянського, емпіричні закони С. Мірзи та Д. Хауди [1], модель ВРЕ (Bertero-Popov-Eligehausen) [5] та ін.

Однак неоднозначність результатів досліджень, істотні відмінності між залежностями зчеплення, отриманими різними авторами та відсутність універсальної теорії зчеплення спонукають до продовження експериментальних та чисельних досліджень даного процесу.

В умовах сучасних реалій повномасштабної війни в Україні питання забезпечення надійного захисту об'єктів критичної інфраструктури та

цивільного населення набуває особливої актуальності [6]. Одним із найбільш небезпечних чинників ураження є вибухова хвиля, що спричиняє значне динамічне навантаження на будівельні конструкції, що може призвести до їх часткового або повного руйнування [7]. Для залізобетонних конструкцій такі впливи, як удари, вибухи та сейсмічні впливи, віднесені до складних видів напружено-деформованого стану [1]. У свою чергу, динамічна поведінка зчеплення арматури з бетоном під впливом ударних та вибухових навантажень є критично важливою для забезпечення надійності залізобетонних конструкцій [8]. Оскільки звичайні методи чисельного аналізу часто ігнорують цей ефект, припускаючи ідеальне зчеплення [9], розробляються спеціальні експериментальні та чисельні моделі для точного опису динамічної поведінки зчеплення арматури з бетоном [10]. Швидкість прикладання навантаження суттєво впливає на параметри зчеплення арматури з бетоном, відповідно, тема даного дослідження є актуальною та обрана в якості основної.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є встановлення та аналіз впливу швидкості прикладання навантаження на ключові параметри зчеплення арматури з бетоном, а також оцінка ефективності сучасних чисельних та аналітичних моделей для прогнозування поведінки залізобетонних конструкцій під екстремальними динамічними впливами.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати та узагальнити експериментальні дослідження зчеплення арматури з бетоном, проведені в умовах квазістатичних та динамічних навантажень, включаючи оцінку мінливості результатів.
2. Визначити кількісний вплив швидкості прикладання навантаження на максимальні напруження зчеплення τ_{bmax} та відповідне проковзування, а також оцінити динамічний коефіцієнт збільшення (DIF) для міцності зчеплення.
3. Оцінити вплив динамічних навантажень на ефективну довжину анкерування та розподіл напружень в арматурі.
4. Проаналізувати та класифікувати сучасні чисельні та аналітичні моделі зчеплення арматури з бетоном, здатні враховувати динамічні та нелінійні ефекти роботи матеріалів.

Матеріали та методи

В основу досліджень покладено аналіз та порівняння результатів, отриманих за допомогою експериментальних випробувань на висмикування (*pull-out test*) та чисельного моделювання, зокрема з акцентом на динамічні впливи.

Результати та обговорення

Основна різниця між статичними та динамічними випробуваннями із монотонним навантаженням, які направлені на дослідження зчеплення

арматури з бетоном, полягає у швидкості прикладання навантаження. Для статичних навантажень характерною є швидкість 0,1 мм/с або 20 мм/хв [11], яка діє постійно або змінюється повільно, а для динамічних – відповідною є швидкість до 100 мм/с у випробуваннях на висмикування (*pull-out tests*), або значно вище при вибухах.

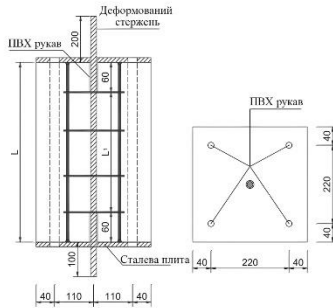
Дослідження монотонного навантаження показують, що початок зсуву вільного кінця стрижня відбувається при напруженнях в арматурі 100–200 МПа і не залежить від наявності атмосферних корозійних пошкоджень [1].

Експериментальні дослідження зчеплення арматури з бетоном при динамічних навантаженнях.

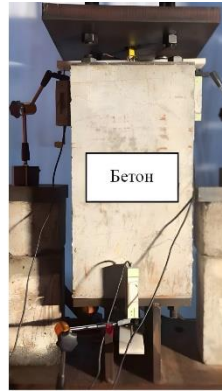
Експериментальні дослідження динамічного зчеплення зазвичай проводяться за допомогою випробувань на висмикування (*pull-out test*) з різними швидкостями навантаження, систем ударних труб (*shock tube*) або розщепленого стрижня Гопкінсона під тиском [10].

Одним із найбільш розповсюджених методів випробувань щодо визначення впливу швидкості прикладення навантаження на параметри зчеплення арматури з бетоном є випробування на висмикування (рис. 1). При цьому довжина анкерування зразків L (рис. 1, а) може суттєво варіюватися: від застосування відносно коротких стержнів довжиною 60 мм або стержнів, довжина яких становить $5 \cdot d$ та $10 \cdot d$ арматури до застосування стержнів із довжиною анкерування $35 \cdot d$ та більше.

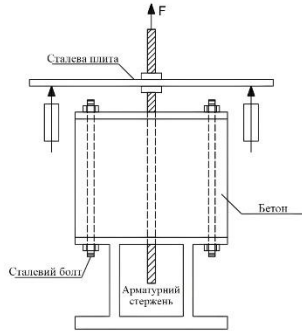
Під час динамічних випробувань зазвичай вимірюють значення прикладеного навантаження, проковзування на навантаженому кінці арматурного стержня та деформації вздовж довжини анкерування арматури за допомогою тензодатчиків чи датчиків розподіленого волоконно-оптичного зондування DFOS [13]. На основі даних вимірювань деформацій арматури по довжині її закладення в бетонному блоці, визначається повний набір параметрів, що характеризують зчеплення, включаючи напруження зчеплення t_b та відносне проковзування δ_{sc} . Напруження зчеплення t_b визначаються з умови рівноваги диференціального елемента арматури, вони є похідною (градієнтом) напружень в арматурі σ_s вздовж вісі стержня x . За умови рівноваги диференціального елемента арматури, зміна зусилля в арматурі на ділянці має дорівнювати силам зчеплення, що діють на цій поверхні [14].



а)



б)



в)

Рис. 1. Типова експериментальна установка для досліджень на висмикування при динамічній дії навантаження [12]:
 а) розміри експериментальних зразків; б) фото фронтального виду установки; в) схематичний вид установки

На основі вимірянних та обчислених параметрів зчеплення арматури з бетоном будують графіки залежності $t_b - \delta_{sc}$ або «висмикувальна сила» – «проковзування навантаженого кінця» (рис. 2). На рис. 2 а, б представлені по два графіки, які характеризують результат випробування двох зразків однієї серії [12]. При цьому наявною є характерна проблема експериментальних досліджень зчеплення: що навіть ідентичні випробування демонструють доволі високу мінливість результатів, зокрема по причині гетерогенності бетону. Так, коефіцієнт варіації може сягати 18% для максимального напруження зчеплення та 23% для відповідного значення проковзування [15].

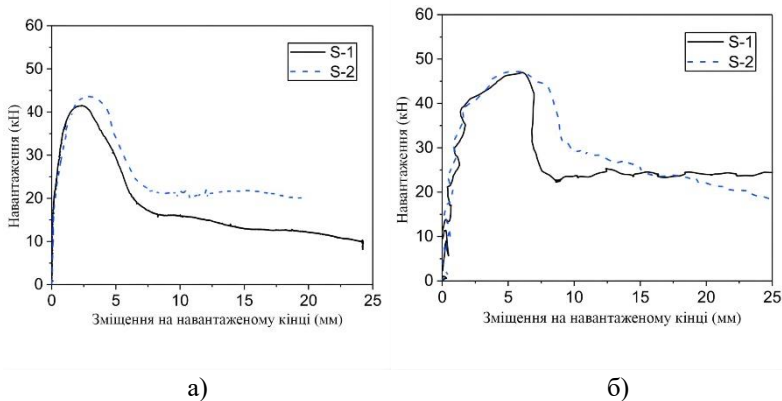


Рис. 2. Залежності «висмикувальна сила» – «проковзування навантаженого кінця», отримані шляхом експерименту при різних швидкостях навантажень [12]:

- а) при квазі-статичному режимі навантаження швидкістю $0,1 \text{ мм/с}$;
- б) при динамічному режимі навантаження швидкістю 100 мм/с .

Довжина анкерування є конструктивним параметром, який безпосередньо впливає на розподіл напружень зчеплення і здатність стержня передавати зусилля на бетон. Напружено-деформований стан арматури та бетону під час висмикування, у тому числі, при високих швидкостях навантаження залежить від довжини стержня в бетоні. Для коротких стержнів зона передачі зусиль стає постійною та рівною довжині стержня після досягнення певного рівня навантаження. Для довгих стержнів зона розподілу напружень продовжується практично до руйнування [3]. Хоча динамічне навантаження не змінює фізичну довжину анкерування, воно впливає на ефективну довжину передачі зусилля. При динамічних навантаженнях, як правило, зусилля концентруються ближче до навантаженого кінця і, відповідно, передаються на бетон по коротшій ділянці порівняно зі статичними випробуваннями.

Численні дослідження підтверджують, що швидкість прикладання навантаження (або *loading rate*) є значущим фактором, що впливає на міцність зчеплення [12]. Результати багатьох більш класичних (Hansen і Liepins (1962), Vos і Reinhardt (1982), Eligehausen та ін. [5]) та сучасних досліджень (Yan і Chen (2012), Li та ін. (2016)) впливу швидкості навантаження підтверджують, що підвищення швидкості прикладання навантаження призводить до збільшення міцності зчеплення [12]. Експериментальні програми даних досліджень, які включали випробування на висмикування, як найбільш оптимальні з точки зору економічності та простоти виготовлення зразків, із діапазоном швидкості навантаження від

0,1 мм/с до 100 мм/с.

Збільшення міцності зчеплення пов'язують із ефектом швидкості деформації (*strain rate effect*) для бетону та арматури, відповідним динамічним коефіцієнтом збільшення (тут і надалі, DIF), відносно високою динамічною межею текучості арматури та швидким розвитком проковзування (*rapid slip*) в зоні контакту. Встановлено, що максимальні напруження зчеплення можуть мати DIF близько 1,5 у порівнянні зі статичним навантаженням [10].

При впливі вибухових навантажень на залізобетонні конструкції будівель та споруд, бетон та сталь можуть реагувати з дуже високими швидкостями деформації, порядку $10 \cdot c^{-1}$ до $1000 \cdot c^{-1}$ або навіть вище [8]. При цих високих швидкостях явна міцність матеріалів може значно зростати. Збільшення міцності, викликане високою швидкістю деформації, може бути розраховане за формулою, рекомендованою Malvar (DIF для межі текучості арматури) [12]. Наприклад, при швидкості деформації $2,9 \cdot 10^{-2} \cdot c^{-1}$, межа текучості арматури може зрости на 17%.

DIF для міцності бетону на розтяг і стиск [16] визначаються окремо згідно положень діючих нормативних документів для розрахунку та проектування залізобетонних конструкцій [10].

У роботі [12] встановлено, що при вищій швидкості навантаження необхідна довжина анкерування для опору прикладеному навантаженню може бути зменшена. Наприклад, ділянка із незначними розтягувальними деформаціями була ближчою до навантаженого кінця при вищій швидкості навантаження, коли прикладене напруження в арматурі було відповідним її статичній межі текучості. (рис. 3)

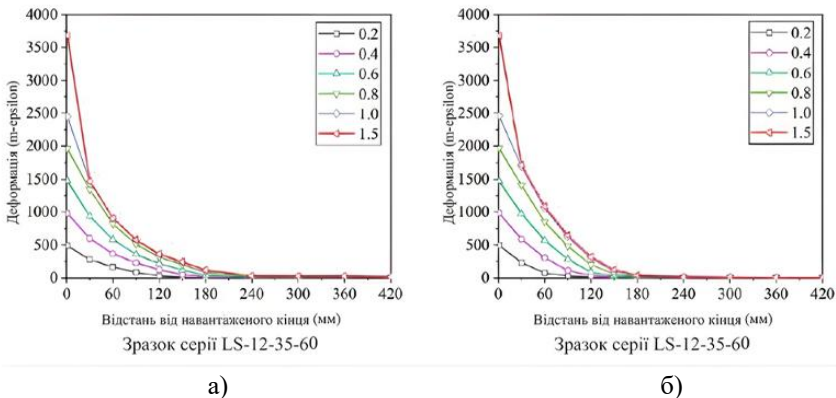


Рис. 3. Розподіл деформацій арматури по довжині її закладення в бетоні при різних ступенях навантаження [9]:

- а) зразок із меншою швидкістю навантаження;
- б) зразок із більшою швидкістю навантаження

При випробуваннях із високими швидкостями прикладання навантаження, як правило, виникають декілька типів руйнування, які є також характерними і для статичних випробувань (рис. 4).



а)



б)



в)

Рис. 4. Типи руйнування експериментальних зразків при випробуванні на висмикування [10, 12]:

- а) висмикування арматурного стержня внаслідок порушення зчеплення з бетоном;
- б) внаслідок висмикування після досягнення межі текучості арматури;
- в) внаслідок розриву арматурного стержня

Виникнення даних типів руйнування обумовлено насамперед конструктивними параметрами експериментальних зразків (довжиною анкерування арматури та наявності обмеження бетону внаслідок наявності поперечної арматури та/або поперечного тиску, співвідношення захисного шару бетону s до діаметру арматурного стержня d) [17].

Тип руйнування внаслідок висмикування арматурного стержня по

причині порушення зчеплення арматури з бетоном (рис. 4, а) є характерним для зразків із короткою довжиною закладення ($5 \cdot d$), як правило, на стадії пружної роботи арматури [18]. Руйнування внаслідок розриву арматурного стержня (рис. 4, б) виникає у зразках, в яких довжина закладення є достатньою або збільшеною ($\geq 10 \cdot d$) [23]. Даний тип руйнування виникає, коли міцність зчеплення є вищою, ніж межа міцності самої арматури на розтяг [19]. Тип руйнування внаслідок висмикування після досягнення межі текучості арматури є можливим при монотонному навантаженні, коли арматура має довжину анкерування, достатню для досягнення нею текучості, але недостатню для руйнування [9]. Однак, у загальному контексті досліджень зчеплення, вихід арматури за межу текучості суттєво знижує напруження зчеплення через пластичне видовження та зминання бетонних виступів між ребрами [20].

Чисельне моделювання зчеплення арматури з бетоном при динамічних навантаженнях.

Чисельне моделювання динамічної поведінки «зчеплення» – «проковзування» при ударних та вибухових навантаженнях є складною задачею, яка вимагає застосування спеціалізованих методів, здатних врахувати нелінійні ефекти, швидкі зміни деформацій та руйнування матеріалів [7].

Існує велика кількість розроблених чисельних та аналітичних моделей, які можна розділити на декілька груп за способом моделювання.

1. *Моделювання у програмних комплексах (наприклад, «LS-DYNA», «ABAQUS»).* Використовується дискретний метод, згідно якого елементи арматури та бетону моделюються окремо, а взаємодія реалізується через спеціальні інтерфейсні моделі [10]. Нижче представлені моделі, які відносяться до цієї групи.

Модель контактної лінії ковзання (Slide Line Contact Model). Для моделювання зчеплення арматури з бетоном у програмному комплексі «LS-DYNA» використовується одновимірна модель контактної лінії ковзання. Ця модель імітує ковзання арматурного стрижня вздовж послідовності вузлів бетону. Для її точного налаштування пропонується метод визначення параметрів (модуля зсуву зчеплення G_s , максимального пружного ковзання s_{max} та експоненційного коефіцієнта кривої пошкодження h_{dmg}) на основі даних звичайних випробувань на висмикування. Ця модель здатна моделювати зчеплення та ковзання в умовах динамічного навантаження [8].

Модель із застосуванням методів дискретної взаємодії. В «LS-DYNA» взаємодія арматури та бетону може бути реалізована за допомогою ключових слів, серед яких CBISF (*CONSTRAINED_BEAM_IN_SOLID з функцією), Contact-1D та MAT_121 (рис. 5). Лише ці три методи дозволяють відтворити поведінку зчеплення арматури з бетоном [10].

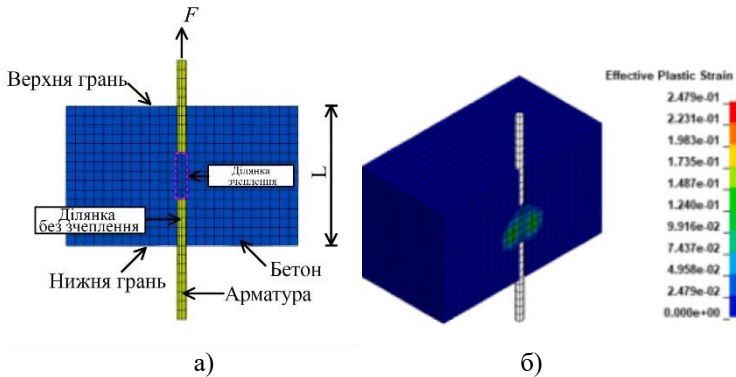


Рис. 5 Приклад чисельної моделі із застосуванням методів дискретної взаємодії [10]:

а) загальна схема; б) дослідження руйнування зони контакту у ПК «LS-DYNA»

Модель на базі когезійного методу. Передбачає контакт «поверхня-до-поверхні» між суцільними елементами бетону та арматури. Моделювання здійснюється за допомогою закону *зачеплення-розділення* (*traction-separation law*), який описує лінійно-пружний діапазон, появу та розвиток пошкодження [21]. Для сценаріїв ударного навантаження когезійний метод краще відтворює тенденції прогину в часі, хоча може недооцінювати реакцію після початку нелінійної поведінки [19].

Модель на основі методу конекторів. Арматура моделюється як балка або ферма, а конектори встановлюють зв'язок «вузол-до-вузла» з проміжним елементом, приєднаним до бетонних елементів. Метод конекторів точніше відтворює експериментально спостережувані типи руйнування при ударних навантаженнях і є більш ефективним з точки зору обчислень [19].

2. *Моделі з урахуванням пластичності та пошкоджень (CDP)* являють собою наближену мультиконтактну модель для дослідження динамічного зчеплення арматури з бетоном на основі моделі *Concrete Damage-Plastic (CDP)*. У цій моделі використовується пружно-пластичний сталевий циліндричний контактний елемент (кільцевий контактний елемент), зменшення міцності якого симулює проковзування. Це дозволяє отримати наближену математичну залежність між проковзуванням арматури та опором кільцевого елемента, що має прийнятну точність (в межах 15% при порівнянні із експериментами на висмикування) і нижчу обчислювальну вартість порівняно із попередніми моделями [11].

3. Аналітичні моделі.

Узагальнення статичних моделей. Для динамічних навантажень

часто використовується підхід, де статичні моделі зчеплення (наприклад, СЕВ-FIP-2010 [10], або ВРЕ-модель [21] або модель [22]) модифікуються. Зазвичай передбачається, що зі збільшенням швидкості навантаження напруження зчеплення зростає при однаковій величині проковзування (рис. 6), щоб врахувати динамічний ефект [21].

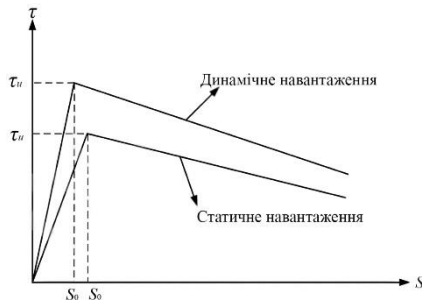


Рис. 6 Модифікація залежності «напруження зчеплення» - «проковзування» при динамічних навантаженнях [2]

Модель шаруватого перерізу (Layered Section Method). Удосконалена модель шаруватого перерізу для залізобетонних балок під вибуховими та ударними навантаженнями враховує ефект «зчеплення» – «проковзування» шляхом зміни еквівалентної жорсткості на вигин EI_{eq} в межах довжини пластичного шарніра [9]. Впровадження ефекту bond-slip у цю модель призводить до значного покращення точності чисельних результатів порівняно з класичним підходом, який ігнорує ковзання.

Таким чином, чисельні моделі (особливо дискретні методи та моделі на основі EI_{eq}), калібровані на динамічних експериментальних даних (наприклад, тестах на висмикування із високою швидкістю навантаження), дозволяють адекватно прогнозувати поведінку залізобетонних конструкцій під екстремальними динамічними впливами, тоді як прості припущення про ідеальне зчеплення часто призводять до неточностей [8].

У роботі [21] було розроблено аналітичну модель зчеплення арматури з бетоном, а її точність перевірено за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) (рис. 7,а). Методика моделювання включала варіацію п'яти діаметрів арматури (6, 8, 9, 12, 16 мм), двох довжин анкерування ($5 \cdot d$ та $10 \cdot d$), і три різні швидкості навантаження: 0,10 мм/с (квазістатична швидкість), 1,00 мм/с, 5,00 мм/с (динамічна швидкість).

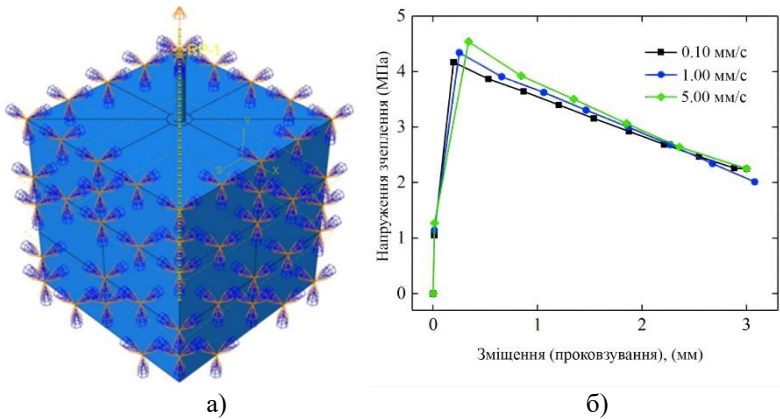


Рис. 7 Скінченно-елементна модель центрально-армованого бетонного блоку (а) та залежності «напруження зчеплення» - «проковзування» при різних швидкостях навантаження (б) [21]

За результатами чисельного моделювання було встановлено, що напруження зчеплення збільшувалися при зростанні швидкості навантаження від 0,10 мм/с до 5,00 мм/с (рис. 7,б). Прогнозоване максимальне напруження зчеплення за динамічної швидкості навантаження значно вище, ніж за квазістатичної [21], що підтверджується результатами експериментальних досліджень.

Висновки

Таким чином, огляд-аналіз проведених чисельних та експериментальних досліджень впливу швидкості прикладання навантаження на параметри зчеплення арматури з бетоном дозволив встановити наступне:

1. Підвищення швидкості прикладання навантаження (loading rate) є значущим фактором, який призводить до збільшення міцності зчеплення. Прогнозоване максимальне напруження зчеплення за динамічної швидкості (наприклад, 5,00 мм/с) значно вище, ніж за квазістатичної (0,10 мм/с). Динамічний коефіцієнт збільшення (DIF) для максимальних напружень зчеплення може сягати близько 1,5 у порівнянні зі статичним навантаженням.

2. При вищій швидкості навантаження необхідна довжина анкерування може бути зменшена, оскільки зусилля концентруються ближче до навантаженого кінця стержня і, відповідно, передаються на бетон по коротшій ділянці порівняно зі статичними випробуваннями.

3. При випробуваннях із високими швидкостями навантаження виникають типи руйнування, аналогічні статичним випробуванням: висмикування арматурного стержня (характерно для короткої довжини закладення), руйнування внаслідок висмикування після досягнення межі текучості арматури, та розрив арматурного стержня (при достатній довжині анкерування).

4. Чисельні моделі (особливо дискретні методи та моделі на основі EI_{eq}), калібровані на результатах динамічних експериментальних даних, дозволяють адекватно прогнозувати поведінку залізобетонних конструкцій під екстремальними динамічними впливами. Прості припущення про ідеальне зчеплення часто призводять до неточностей.

5. Встановлено, що навіть ідентичні випробування на зчеплення демонструють доволі високу мінливість результатів, зокрема через гетерогенність бетону. Коефіцієнт варіації може сягати до 18% для максимального напруження зчеплення та 23% для відповідного проковзування.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Автори висловлюють глибоку вдячність Міністерству освіти і науки України за підтримку даної роботи, яка була виконана в рамках проекту науково-технічної (експериментальної) розробки молодих вчених №0125U000766 «Зчеплення арматури з бетоном у конструкціях захисних споруд із урахуванням нових ефектів опору».

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Klymov, Y. (2021). Influence of corrosion damage on the bond of reinforcement in concrete. *Building Constructions. Theory and Practice*, 9, 4-14. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.9.2021.4-14>
2. Romashko, O.V., Zhuravskiy, V.M., & Romashko, O.D. (2019). General model of adhesion reinforcement of concrete. *Resource-Saving Materials, Structures, Buildings and Structures*, 37, 214-221. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i37.319>
3. Kochkarev, D.V. (2014). About average tension of reinforcement coupling with concrete. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*, 1, 176-

184. Retrieved from: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Vnuvpg_tekhn_2014_1_24
- 4.Yakovenko, I.A., & Dmytrenko, Ye.A. (2025). Klasyfikatsiia parametriv ta poshuk analitychnykh zalezhnostey zchepлення armatury z betonom u zalizobetonnykh konstrukciiah budiveli ta sporud [Classification of parameters and search for analytical dependencies of reinforcement bonding with concrete in reinforced concrete structures of buildings and structures]. In: *Zbirnyk tez dopovidei XII mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Kramarovski chytannia" – Collection of abstracts of the XII international scientific and technical conference "Kramarov readings"* (pp. 533-536). Kyiv: NULES of Ukraine. Retrieved from: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/3c39ede7-138b-42c6-97b8-e2a42afed33d/content>
- 5.Eligehausen, R., Popov, E.P., & Bertero, V.V. (1983). Local Bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations. Berkeley, California: University of California. Retrieved from: <https://elib.uni-stuttgart.de/bitstreams/f20592ed-7314-4412-9e28-a834343dc413/download>
- 6.Tomenko, V., & Velykyi, I. (2024). Metody otsinky ta vidnovlennia tekhnichnoho stanu zalizobetonnykh konstruksii pry sylovykh, vysokotemperaturnykh vplyvakh ta vybukhovykh navantazhenniakh [Methods for assessing and restoring the technical condition of reinforced concrete structures under force, high-temperature influences and explosive loads]. In: *Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference "Innovative Solutions in Science: Balancing Theory and Practice"* (pp. 28-35). San Francisco, USA: European Open Science Space. Retrieved from: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/24203>
- 7.Polyakov, A., & Lapenko, O. (2025). Numerical studies of the dynamic impact of the blast wave on protective structures. *Theory and Practice of Design*, (36), 103–115. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.36.10>
- 8.Shi, Y., Li, Z.-X., & Hao, H. (2009). Bond slip modelling and its effect on numerical analysis of blast-induced responses of RC columns. *Structural Engineering and Mechanics*, 32(2), 251-267. <https://doi.org/10.12989/sem.2009.32.2.251>
- 9.Lee, M., & Kwak, H.G. (2018). Blast and impact analyses of RC beams considering bond-slip effect and loading history of constituent materials. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12, article number 32. <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0244-9>
10. Peng, Q., Wu, H., Jia, P.C., Ma, L.L., & Fang, Q. (2023). Numerical studies on rebar-concrete interactions of RC members under impact and explosion. *Structures*, 47, 63-80. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.063>
11. Mirhosseini, R.T., Araghizadeh, E., & Rashidi, S. (2023). Approximate relationship for the bond-slip using a concrete damage-plastic model. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2023, article number 1320192. <https://doi.org/10.1155/2023/1320192>
12. Long, X., Wang, C.-Y., Zhao, P.-Z., & Kang, S.-B. (2020). Bond strength of steel reinforcement under different loading rates. *Construction and Building Materials*, 238, article number 117749. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117749>

13. Kang, S.-B., Wang, S., Long, X., Wang, D.-D., & Wang, C.-Y. (2020). Investigation of dynamic bond-slip behaviour of reinforcing bars in concrete. *Construction and Building Materials*, 262, article number 120824. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120824>
14. Corres, E., & Muttoni, A. (2023). Bond of steel reinforcement based on detailed measurements: Results and interpretations. *Structural Concrete*, 24(6), 7173-7204. <https://doi.org/10.1002/suco.202300324>
15. Corres, E., & Muttoni, A. (2024). Local bond-slip model based on mechanical considerations. *Engineering Structures*, 314, article number 1181190. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118190>
16. Romashko-Maistruk, O.V., & Romashko, V.M. (2024). Simulation of stress-strain diagram of compressed concrete under long-term loads. *Resource-Saving Materials, Structures, Buildings and Structures*, 46, 275-282. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i46.32>
17. Zheng, Y., Fan, C., Ma, J., & Wang, S. (2023). Review of research on Bond-Slip of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*, 385, article number 131437. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131437>
18. Vembu, P.R.S., & Ammasi, A.K. (2023). A comprehensive review on the factors affecting bond strength in concrete. *Buildings*, 13(3), article number 577. <https://doi.org/10.3390/buildings13030577>
19. Ansell, A., Pixa, M., Peterson, V., & Hallgren, M. (2025). Modelling of bond slip for impact-loaded reinforced concrete beams. In: *Proceedings of the 15th International Conference on Shock & Impact Loads on Structures (SILOS)*. Gothenburg, Sweden: KTH Royal Institute of Technology. Retrieved from: <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1992753&dsid=8118>
20. Galkovski, T., Mata-Falcón, J., & Kaufmann, W. (2023). Experimental investigation of bond and crack behaviour of reinforced concrete ties using distributed fibre optical sensing and digital image correlation. *Engineering Structures*, 292, article number 116467. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116467>
21. Long, X., Li, H., Iyela, P.M., & Kang, S.-B. (2024). Predicting the bond stress-slip behavior of steel reinforcement in concrete under static and dynamic loadings by finite element, deep learning and analytical methods. *Engineering Failure Analysis*, 161, article number 108312. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108312>
22. Yakovenko I., Dmytrenko Y., Bakulina V. Construction of Analytical Coupling Model in Reinforced Concrete Structures in the Presence of Discrete Cracks. In: Bieliatynskyi A., Breskich V. (Eds.). *Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cham: Springer, 2023. P. 107–120. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9_10.
23. Lv, X., Yu, Z., & Shan, Z. (2021). Bond stress-slip model for rebar-concrete interface under monotonic and cyclic loading. *Structures*, 34, 498-506. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.093>

Література

1. Клімов Ю. Вплив корозійних пошкоджень на зчеплення арматури періодичного профілю з бетоном. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2021. Вип. 9. С. 4–14. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.9.2021.4-14>

2. Ромашко О. В., Журавський В. М., Ромашко О. Д. Узагальнена модель зчеплення арматури з бетоном. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2019. Вип. 37. С. 214–221. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i37.319>

3. Кочкар'єв Д. В. Про середні напружки зчеплення арматури з бетоном. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2014. Вип. 1. С. 176–184. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Vnuvpg_tekhn_2014_1_24

4. Яковенко І. А., Дмитренко Є. А. Класифікація параметрів та пошук аналітичних залежностей зчеплення арматури з бетоном у залізобетонних конструкціях будівель та споруд. *Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання»*. Київ, Україна : НУБіП України, 2025. С. 533–536.

5. Eligehausen, R., Popov, E.P., & Bertero, V.V. (1983). *Local Bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations*. Berkeley, California: University of California. Retrieved from: <https://elib.uni-stuttgart.de/bitstreams/f20592ed-7314-4412-9e28-a834343dc413/download>

6. Томенко В., Великий І. (2024). Методи оцінки та відновлення технічного стану залізобетонних конструкцій при силових, високотемпературних впливах та вибухових навантаженнях. *Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference “Innovative Solutions in Science: Balancing Theory and Practice”*. Сан-Франциско, США : European Open Science Space, 2024. С. 28–35. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/24203>

7. Polyakov, A., & Lapenko, O. (2025). Numerical studies of the dynamic impact of the blast wave on protective structures. *Theory and Practice of Design*, (36), 103–115. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.36.10>

8. Shi Y., Li Z. X., Hao H. Bond slip modelling and its effect on numerical analysis of blast-induced responses of RC columns. *Structural Engineering and Mechanics*. 2009. Vol. 32, No 2. P. 251–267. <https://doi.org/10.12989/sem.2009.32.2.251>

9. Lee M., Kwak H. G. Blast and impact analyses of RC beams considering bond-slip effect and loading history of constituent materials. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2018. Vol. 12. No 32. <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0244-9>

10. Peng Q., Wu H., Jia P. C., Ma L. L., Fang Q. Numerical studies on rebar-concrete interactions of RC members under impact and explosion. *Structures*. 2023. Vol. 47. P. 63–80. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.063>

11. Mirhosseini R. T., Araghizadeh E., Rashidi S. Approximate relationship for the bond-slip using a concrete damage-plastic model. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2023. Vol. 2023. No 1320192. <https://doi.org/10.1155/2023/1320192>

12. Long X., Wang C. Y., Zhao P. Z., Kang S. B. Bond strength of steel reinforcement under different loading rates. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 238. No 117749. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117749>
13. Kang S. B., Wang S., Long X., Wang D. D., Wang C. Y. Investigation of dynamic bond-slip behaviour of reinforcing bars in concrete. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 262. No 120824. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120824>
14. Corres E., Muttoni A. Bond of steel reinforcement based on detailed measurements: Results and interpretations. *Structural Concrete*. 2023. Vol. 24, No 6. P. 7173–7204. <https://doi.org/10.1002/suco.202300324>
15. Corres E., Muttoni A. Local bond-slip model based on mechanical considerations. *Engineering Structures*. 2024. Vol. 314. No 1181190. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118190>
16. Ромашко-Майструк О. В., Ромашко В. М. Моделювання діаграми напруження-деформації стиснутого бетону за дії довготривалих навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2024. Вип. 46. С. 275–282. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i46.32>
17. Zheng Y., Fan C., Ma J., Wang S. Review of research on Bond-Slip of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 385. No 131437. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131437>
18. Vembu P. R. S., Ammasi A. K. A comprehensive review on the factors affecting bond strength in concrete. *Buildings*. 2023. Vol. 13, No 3. No 577. <https://doi.org/10.3390/buildings13030577>
19. Ansell A., Pixa M., Peterson V., Hallgren M. Modelling of bond slip for impact-loaded reinforced concrete beams. *Proceedings of the 15th International Conference on Shock & Impact Loads on Structures (SILOS)*. Gothenburg, Sweden : KTH Royal Institute of Technology, 2025. URL: <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1992753&dswid=8118>
20. Galkovski T., Mata-Falcón J., Kaufmann W. Experimental investigation of bond and crack behaviour of reinforced concrete ties using distributed fibre optical sensing and digital image correlation. *Engineering Structures*. 2023. Vol. 292. No 116467. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116467>
21. Long X., Li H., Iyela P. M., Kang S. B. Predicting the bond stress-slip behavior of steel reinforcement in concrete under static and dynamic loadings by finite element, deep learning and analytical methods. *Engineering Failure Analysis*. 2024. Vol. 161. No 108312. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108312>
22. Yakovenko I., Dmytrenko Y., Bakulina V. Construction of Analytical Coupling Model in Reinforced Concrete Structures in the Presence of Discrete Cracks. In: Bieliatynskyi A., Breskich V. (Eds.). *Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cham: Springer, 2023. P. 107–120. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9_10.

23. Lv X., Yu Z., Shan Z. Bond stress-slip model for rebar-concrete interface under monotonic and cyclic loading. *Structures*. 2021. Vol. 34. P. 498–506. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.093>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 20.11.2025	Received in revised form 20.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Ye. A. Dmytrenko*

PhD (Tech. Sci.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9737-943X>

Department of Construction

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

N. O. Kostyra

PhD (Tech. Sci.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5934-9563>

Department of Construction

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

M. V. Usenko

PhD (Tech. Sci.), Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1969-1265>

Department of Construction

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

D. O. Denysenko

PhD Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6556-6159>

Department of Construction

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

*corresponding author, e-mail: zdmityrenko26@gmail.com

The influence of the parameters loading rate for reinforcement with concrete bond by numerical and experimental tests

How to Cite:

Dmytrenko, Ye. A., Kostyra N.O., Usenko M.V & Denysenko, D. O. (2025). The influence of the parameters loading rate for reinforcement with concrete bond by numerical and experimental tests. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 123-142. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-10](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-10)

Abstract. Bond between reinforcement and concrete is a fundamental factor ensuring the composite behavior of these materials, crucial for the load-bearing capacity, stiffness, crack resistance, and durability of reinforced concrete (RC) structures. Despite its importance, a universal theory of bond satisfying engineering requirements remains undeveloped. This difficulty stems from the influence of a large number of interrelated factors, systematically classified into seven major groups (including geometric and physical parameters of reinforcement/concrete, stress-strain state, deformation

parameters, crack resistance, and environmental/corrosion effects). The study addresses the theoretical challenge stemming from classic bond laws (Rehm's step law, Guyon's elasto-plastic law, Kholmyanskiy's normal law, and Mirza and Houde's empirical law, BPE bond-slip model), which analytically describe the relationship between bond stresses and corresponding slip deformations. The necessity for this study is amplified by the critical nature of dynamic actions (impacts, explosions), categorized as complex stress-strain states, particularly relevant in the context of the full-scale war in Ukraine, where blast waves and missile strikes subject structures to severe dynamic loads.

The aim of this research was to establish and analyze the influence of the loading rate on key bond parameters and to evaluate the efficiency of modern numerical and analytical models for predicting RC structural behavior under extreme dynamic excitations. The methodology involves synthesizing results from experimental pull-out tests conducted under quasi-static (0.1 mm/s) and dynamic (up to 100 mm/s, or higher for explosions) regimes, alongside advanced numerical simulations.

The results unequivocally demonstrate that increasing the loading rate is a significant factor that leads to an increase in bond strength. The predicted maximum bond stress (τ_{bmax}) at dynamic loading speeds (e.g., 5.00 mm/s) is markedly higher than under quasi-static conditions. It was established that the Dynamic Increase Factor (DIF) for can reach approximately 1.5 when compared to static loading. This strengthening effect is attributed to the strain rate effect in concrete and steel, as well as the rapid development of slip in the contact zone. Furthermore, at higher loading rates, the effective anchorage length is reduced, concentrating forces closer to the loaded end of the bar compared to static tests. The observed failure modes (pull-out, pull-out after yielding, and bar rupture) remain consistent with those observed during static tests. The research also highlighted the inherent high variability of test results due to concrete heterogeneity, noting coefficients of variation up to 18% for maximum bond stress and 23% for corresponding slip.

Numerical modeling of dynamic bond behavior requires specialized approaches to capture nonlinear effects. Effective modeling techniques include discrete methods (e.g., Slide Line Contact Model, CBISF in «LS-DYNA»), models utilizing the Concrete Damage-Plastic (CDP) concept, and analytical models enhanced with the DIF coefficient or the Layered Section Method (EI_{eq}) for blast analysis. The study concludes that numerical models calibrated with dynamic experimental data provide adequate prediction of RC behavior under extreme dynamic impacts, whereas simple assumptions of ideal bond often lead to significant inaccuracies.

Keywords: bond of reinforcement with concrete, loading rate, dynamic loads, dynamic increase factor (DIF) of bond, explosive effects, anchoring, slip, pull-out test.

УДК 624.131.3:624.139:625.732:627.8

О. Г. Добровольська

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-7216>

Кафедра міського будівництва і архітектури

Запорізький національний університет, просп. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006

О. М. Фостащенко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4287-2838>

Кафедра міського будівництва і архітектури

Запорізький національний університет, просп. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006

А. В. Банах

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0517-2157>

Кафедра міського будівництва і архітектури

Запорізький національний університет, просп. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006

*автор-кореспондент, e-mail: zdia207@gmail.com

**Моніторинг технічного стану й функціональної придатності
транспортної інфраструктури, інженерних споруд та
обладнання в умовах міської забудови**

Цитувати як:

Добровольська, О. Г., Фостащенко, О. М., Банах А.В. (2025). Моніторинг технічного стану й функціональної придатності транспортної інфраструктури, інженерних споруд та обладнання в умовах міської забудови. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 143-154. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-11)

© 2025, Добровольська О. Г., Фостащенко О. М., Банах А.В.

У статті наведено інформацію щодо результатів моніторингу, технічного обстеження та капітального ремонту транспортно-гідротехнічної споруди – дамби з водопропускною трубою, розташованої в межах міської забудови. Розглянуто комплекс заходів, спрямованих на забезпечення стабільності насипу, підвищення ефективності водовідведення та зменшення ризиків руйнування конструкцій під впливом гідродинамічних і транспортних навантажень. У світовій практиці подібні завдання вирішуються через поєднання методів дистанційного моніторингу та безтраншейних технологій відновлення підземних трубопроводів, які забезпечують мінімальне втручання в дорожнє полотно та довготривалу надійність споруд.

У ході проведених досліджень виконано комплексну оцінку технічного стану споруди із застосуванням візуального, геодезичного, ударно-імпульсного та ультразвукового методів контролю. Встановлено, що водопропускні труби перебували в обмежено-працездатному стані через розмив ґрунту, руйнування бутової кладки та зношення бетонного укріплення річища. Результати моніторингу показали, що головними причинами дефектів є тривала експлуатація без ремонтних втручань, вплив динамічних навантажень від транспортного руху та порушення системи відведення поверхневих вод.

За результатами моніторингу розроблено заходи з капітального ремонту, що включали: відновлення захисного шару бетону водопропускних труб полімерцементним розчином, ін'єктування тріщин, виконання нового ущільненого насипу з посиленими укосами, влаштування бетонного укріплення річища та модернізацію системи водовідведення. Після виконання робіт відновлено функціональність водопропускної споруди, забезпечено стабільність укосів та зменшено ризики розмивання ґрунту. Улаштування нових дощоприймальних і оглядових колодязів, а також формування поздовжніх і поперечних ухилів дороги сприяло ефективному відведенню поверхневих стоків і підвищенню рівня безпеки руху.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування комбінованого системного підходу до обстеження та ремонту інженерних споруд. Поєднання сучасних методів моніторингу та відновлювальних технологій дозволяє забезпечити точну діагностику дефектів, скоротити строки ремонту й знизити витрати на експлуатацію. Запроваджені технічні рішення продемонстрували ефективність їх застосування для підвищення стійкості насипів, надійності водовідведення та загальної довговічності споруди в умовах щільної міської забудови. Проведене дослідження має практичне значення для подальшого удосконалення систем моніторингу та відновлення інженерних об'єктів у післявоєнний період з урахуванням принципів сталого розвитку та цивільної безпеки.

Ключові слова: моніторинг технічного стану; капітальний ремонт дамби; водопропускна труба; полімер-цементне відновлення; система водовідведення.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Забезпечення функціональної придатності транспортної інфраструктури та інженерних споруд для транспортування води у межах міської забудови є однією з ключових інженерно-економічних задач при плануванні та експлуатації міст, особливо в умовах воєнних дій. Своєчасний і комплексний моніторинг технічного стану доріг, дамб та водопропускних споруд дозволяє оцінити ризики втрати експлуатаційної придатності, попередити аварії та обґрунтувати адекватні заходи з реконструкції й ремонту.

У сучасній практиці ці задачі вирішуються через поєднання дистанційних методів: наприклад, застосування фотограмметрії БПЛА для виявлення пошкоджень греблі та моніторингу аварійних ситуацій [1], локальних сенсорних мереж, волоконно-оптичних датчиків [2], геофізичних неруйнівних досліджень і новітніх методів відновлення трубопроводів і підпірних споруд із застосуванням безтраншейних технологій [3], таких як Ultraviolet Cured-In-Place Pipe [4] із застосуванням гнучких просочених смолою рукавів, які цементуються під дією ультрафіолетового випромінювання.

Огляд останніх досліджень [5] свідчить про інтенсивний розвиток методів дистанційного та локального моніторингу. Використання UAV-

фотограмметрії та 3D-реконструкції дозволяє предметно контролювати поверхневі ушкодження дамб і дорожнього полотна та швидко здійснювати аварійні інспекції в віддалених або обмежених зонах доступу. Ці методи мають практичну придатність для виявлення тріщин, зсувів поверхні й ерозійних процесів на дамбах та гідротехнічних спорудах.

Застосування інтерферометричних радарів із синтезованою апертурою (InSAR) дозволяє визначити осідання, підйоми чи зсуви землі з **точністю до кількох міліметрів [6]**: аналогічні системи вже успішно застосовуються для виявлення повільних просідань підпірних споруд, дамб і прикордонних зон дорожніх насипів. Українські фахівці [7] продемонстрували застосування методу постійних розсіювачів Sentinel-1 для оцінки вертикальної стабільності дамб на прикладі промислових та гідроенергетичних об'єктів: У роботі [8] застосовано метод вертикального електричного зондування (ВЕЗ) із використанням постійного струму, що дає змогу визначати електричні властивості гірських порід шляхом послідовних вимірів потенціалів електричного поля. Комбінований моніторинг із застосуванням InSAR та наземних методів контролю підвищує достовірність висновків про стан деформацій. Дослідженнями [9] обґрунтовано застосування волоконно-оптичних систем розподіленого зондування для реєстрації акустичних сигналів, температурних градієнтів та динамічних коливань у тілі споруд і трубопроводах [9]. Такі системи мають високу чутливість до протікання, ударних подій та механічних пошкоджень, що робить їх корисними для цілодобового моніторингу аварійних ділянок.

Під час відновлення та ремонту аварійних трубопроводів застосовуються безтраншейні методи такі як CIPP, SAPL [3] для відновлення підземних труб без руйнування дорожнього полотна, що особливо важливо для щільної міської забудови. Автори [10] акцентують увагу на зниженні впливу на транспортну інфраструктуру при використанні методів безтраншейної реабілітації залізобетонних трубопроводів. Як зазначено в роботі [11], результати експериментальних досліджень, доводять ефективність застосування полімерних матеріалів, зокрема електронно-променевого вуглепластика для ремонту та посилення залізобетонних конструкцій. Паралельно, для ремонтів елементів дорожнього покриття, збірних водопропускних лотків та залізобетонних водопропускних труб широко використовують армування композитними матеріалами, місцеве ін'єктування, усунення підмивів і застосування геосинтетичних підсилень. Ефективність цих технологій залежить від правильної діагностики дефектів і вибору методу з урахуванням гідродинамічних навантажень.

Попри наявність сучасних технологій обстеження та ремонту інженерних споруд, у практиці залишаються кілька важливих проблем. По-перше, недостатньо розвинена взаємодія між дистанційними методами

моніторингу та локальними способами контролю, які могли б застосовуватись як єдина система попередження аварій. По-друге, бракує реальних прикладів комплексного застосування безтраншейних технологій відновлення підземних комунікацій у щільній міській забудові з перевіреними показниками довговічності. По-третє, актуальною є потреба адаптації цих методів до умов бойових дій та надзвичайних ситуацій, зокрема змін гідрологічного режиму, що спостерігаються в окремих регіонах України. Такі виклики особливо помітні під час розроблення проєктів відновлення об'єктів місцевого значення: наприклад, дамби та водопропускної труби по вул. Котляревського в м. Запоріжжі, де поєднуються ризики конструктивних пошкоджень, зміни руслових процесів і потреба мінімізувати втручання в дорожнє полотно.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – обґрунтувати технічні рішення капітального ремонту дамби та водопропускної труби з урахуванням сучасних методів обстеження, безтраншейних технологій та вимог цивільної безпеки.

Завдання дослідження: проаналізувати технічний стан споруди за результатами візуального й інструментального обстеження; визначити основні причини пошкоджень та можливі ризики подальшої експлуатації; підібрати оптимальні технології ремонту; розробити пропозиції щодо поетапної реалізації робіт із мінімальним впливом на дорожню інфраструктуру; оцінити ефективності запроваджених технологій зміцнення й водовідведення у міських умовах.

Матеріали та методи

Методикою досліджень передбачено комплексний аналіз технічного стану та проєктних рішень капітального ремонту водопропускної споруди по вул. Котляревського в м. Запоріжжі. Основою дослідження стали результати візуального, геодезичного та геофізичного обстеження, виконаного перед початком ремонтних робіт, а також порівняння параметрів конструкцій до і після виконання відновлювальних заходів.

Для аналізу технічного стану споруди застосовано поєднання методів:

- **візуальне обстеження** елементів залізобетону та бутової кладки;
- **геодезичні вимірювання** осідань і деформацій конструкцій;
- метод ударного імпульсу для визначення міцності бетону;
- ультразвуковий метод для визначення товщини стінок водопропускних труб;
- **фотофіксацію** стану споруди до початку ремонту.

На рис. 1 показані дефекти споруди, виявлені під час візуального обстеження: Д1 – обвал бутової кладки вихідного оголовку водопропускних труб; Д2 – вимивання розчину зі швів бутової кладки; Д3 – руйнування

захисного шару бетону з оголенням та корозією арматури до 15 % втрати перерізу; Д4 – тріщини в тілі водопропускних труб з шириною розкриття 1-5 мм; Д5 – сколювання бетону водопропускних труб; Д8 – розмив та руйнування укосів дамби; Д9 – руйнування асфальтобетонного покриття проїзної частини; Д10 - руйнування захисного шару бетону плит пішохідної частини з оголенням та корозією арматури до 15 % втрати перерізу.



Рис. 1. Дефекти та пошкодження конструктивних елементів

В ході геодезичних робіт виконана геодезична зйомка поздовжнього профілю проїзної частини, в результаті якої встановлено ухил полотна у бік водопропускного лотка. Визначення ширини розкриття тріщин в тілі водопропускних споруд виконано за допомогою використання лінійки та штангенциркуля. Під час інструментального обстеження встановлено, що тріщини мають ширину розкриття від 1 до 5 мм. Величина зміщення залізобетонних ланок водопропускних труб становить 50 мм.

Визначення міцності бетону водопропускних труб виконано методом ударного імпульсу з використанням приладу ОНІКС – 2.5. Середня міцність бетону склала від 35,0 до 38,0 МПа, що відповідає класу міцності бетону С20/25 – С25/30.

Товщина стінок водопропускних труб визначена ультразвуковим методом з використанням приладу УТ-31. Мінімальна товщина стінки сталеві труби діаметром 102 мм склала від 3,6 до 4 мм, корозійний знос стінок труб відносно фактичної максимальної товщини становить 10 %.

Результати та обговорення

Водопропускні труби – залізобетонні зі збірних розтрубних ланок діаметром 1500 мм та довжиною 2,0 м розташовані в тілі насипу дамби з ухилом $i=0,037$ у напрямку течії річки, як показано на рис. 2.

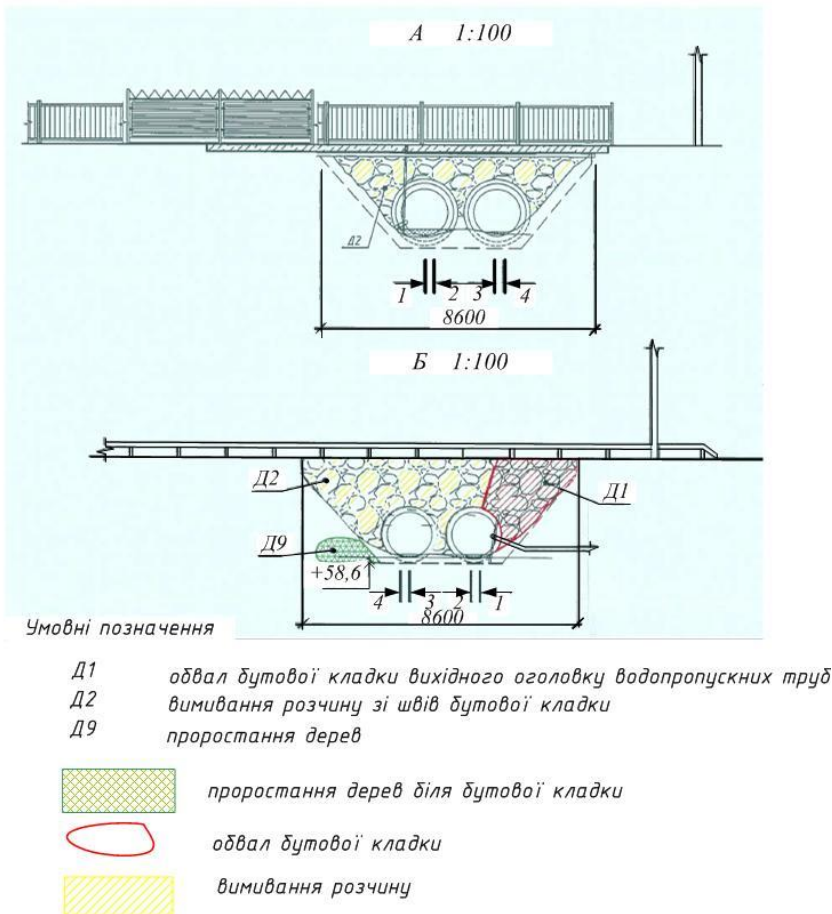


Рис. 2. Елементи дамби та водопропускної споруди

Загальна довжина труб становить 10,0 м, товщина стінки труби становить 150 мм. По краях водопропускної труби влаштовані вхідний та вихідний оголовки, які слугують підпірними стінами для земляного насипу дамби та її укисних частин, виконані з б'утової кладки товщиною 550-600 мм. Дорожнє покриття проїзної частини дороги – асфальтобетон. Огородження проїзної частини споруди виконано бар'єрного типу.

Аналіз виявлених пошкоджень конструкцій вказує на наступні причини їх виникнення: розмив ґрунту навколо та безпосередньо під б'утовою кладкою вихідного оголовку труб; розмивання ґрунту є результатом незадовільного стану бетонного укріплення річища; незадовільний стан системи водовідведення та укріплення укисів насипу

дамби; вплив статичних та динамічних навантажень (від ваги ґрунту та від руху транспорту); тривала експлуатація елементів без проведення ремонтних робіт.

Експлуатаційний стан елементів та споруди в цілому визначено відповідно до [12].

Таблиця 1. Оцінка експлуатаційних станів елементів та споруди в цілому

№	Конструктивний елемент	Експлуатаційний стан
1	Залізобетонні водопропускні труби	Стан 4 (обмежено-працездатний)
2	Вхідний оголовок	Стан 3 (працездатний)
3	Вихідний оголовок	Стан 4 (обмежено-працездатний)
4	Укоси насипу дамби	Стан 4 (обмежено-працездатний)
5	Бетонне укріплення річища на вихідному оголовку	Стан 4 (обмежено-працездатний)
6	Дорожнє полотно	Стан
7	Пішохідна частина	Стан 3 (працездатний)
8	Підходи	Стан 3 (працездатний)
9	Елементи водовідведення	Стан 3 (працездатний)
Експлуатаційний стан споруди в цілому		Стан 4 (обмежено-працездатний)

Враховуючи численні пошкодження окремих елементів, було прийнято рішення про застосування наступних ремонтних технологій та етапів виконання відновлювальних робіт під час капітального ремонту: відновлення захисного шару бетону водопропускних труб полімерцементним розчином, з попереднім видаленням залишків крихкого бетону; виконання ін'єктування тріщин, відновлення зруйнованих ділянок бетону та швів між залізобетонними ланками труб шляхом нанесення полімерцементного розчину, виконання нового насипу дамби з ущільненням та посиленням зовнішньої поверхні, виконання залізобетонного укріплення укосів дамби.

В результаті проведення капітального ремонту влаштовані дощові приймальні колодязі та оглядовий колодязь, водоскид здійснено в наявний водовідвідний лоток, відновлена ширина земляного полотна до 10 м та влаштовані укоси з ухилом 1:1,5. Водовідведення поверхневої води здійснюється шляхом влаштування поздовжнього та поперечного ухилів, дощові та талі води збираються під бортовим каменем та скидаються в дощові приймачі. Виконано фрезерування наявного асфальтобетонного покриття глибиною 6 см, його транспортуванням у відвал для часткового подальшого використання для укріплення узбіч та влаштування нового

дорожнього одягу. Ширина пішохідних шляхів прийнята 1,8 м, на шляхах переміщення вздовж пішохідних доріжок в якості тактильних інформаційних покажчиків використовується бортовий камінь, який має контрастний колір щодо до покриття доріжок та має гладку фактуру, яка відрізняється від поверхні покриття.

Запроваджені технології зміцнення укосів та улаштування системи водовідведення підвищили стійкість насипу дамби до розмивання, забезпечили стабільність підпірних елементів і зменшили вплив поверхневих стоків на конструкції споруди, що є особливо ефективним рішенням для експлуатації в умовах щільної міської забудови та змінних навантажень від транспортного руху.

Висновки

1. У результаті проведеного моніторингу технічного стану дамби та водопропускної труби встановлено, що споруда знаходиться в обмежено-працездатному стані та підлягає подальшій експлуатації за умови проведення капітального ремонту.

2. Основними причинами пошкоджень є розмивання ґрунту під бутовою кладкою, руйнування бетонного укріплення русла та незадовільний стан системи водовідведення.

3. Застосування комплексу сучасних методів обстеження: візуального, геодезичного, ультразвукового та ударного імпульсу дозволило достовірно оцінити експлуатаційний стан конструкцій і визначити ділянки, що потребували ремонту.

4. Під час капітального ремонту впроваджено ефективні технологічні рішення: відновлення захисного шару бетону полімерцементними складами, ін'єктування тріщин, улаштування нового ущільненого насипу з посиленими укосами та модернізація системи водовідведення. Здійснені заходи забезпечили підвищення надійності споруди, стійкість укосів до розмивання, покращення відведення поверхневих вод та безпечну експлуатацію дороги в умовах міської забудови.

5. Отримані результати підтверджують доцільність застосування комбінованого підходу до моніторингу й ремонту транспортно-гідротехнічних споруд із використанням сучасних матеріалів і безтраншейних технологій, що сприяє продовженню їх ресурсу та підвищенню рівня цивільної безпеки.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Kang, J., Kim, D., Lee, Ch., Kang, J., & Kim, D. (2023). Efficiency study of combined UAS photogrammetry and terrestrial LiDAR in 3D modeling for maintenance and management of fill dams. *Remote Sensing*, 15(8), 2026. <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/8/2026>
2. Xin, X., Hui, J., Chen, L., Liang, M., & Yao, Z. (2025). Monitoring the internal conditions of road structures by smart sensing and *in situ* monitoring technology: A review. *Applied Sciences*, 15(7), 3945. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/7/3945>
3. Hicks, J., Kaushal, V., & Jamali, K. (2022). A comparative review of trenchless cured-in-place pipe (CIPP) with spray applied pipe lining (SAPL) renewal methods for pipelines. *Frontiers in Water*, 4, Article 904821, 1-7. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.904821>
4. Xing, W. (2025). Trenchless rehabilitation materials and technologies for water supply pipes: A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*, 203 (Part A), 107896. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582025011632>
5. Zhao, S., Kang, F., Li, J., & Ma, C. (2021). Structural health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction. *Automation in Construction*, 130, 103875. <https://www.sciencedirect.com/getaccess/pii/S0926580521002831/purchase>
6. Tolomei, C., Beccaro, L., & Cianflone, G. (2023). InSAR-based detection of subsidence affecting infrastructures and urban areas: Case studies and time-series analysis. *Geosciences*, 13. <https://www.mdpi.com/2076-3263/13/5/138>
7. Tretyak, K., Kukhtar, D., & Lipecki, T. (2024). Assessing reservoir dam stability using C-band permanent scatterers InSAR. *Information Technologies, Systems Analysis and Control in Civil and Environmental Engineering (ISTCGCAP)*, 99, 5–14. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2024.99.005>
8. Kuzmenko, E. D., Mandryk, O. M., & Mykhailiuk, R. Y. (2022). Study of the condition of the Dniester dam using electrical and electromagnetic methods (Poberezhzhia village area, Ivano-Frankivsk region). *Visnyk of Lviv State University of Life Safety*, 25, 34-46.
9. Guemes, A., Mujica, L. E., Río-Velilla, D., & Lopez, A. F. (2025). Structural health monitoring by fiber optic sensors. *Photonics*, 12(6), 604. <https://doi.org/10.3390/photonics12060604>
10. Zhu, H., Wang, T., Wang, Y., & Li, V. C. (2021). Trenchless rehabilitation for concrete pipelines of water infrastructure: A review from the structural perspective. *Cement and Concrete Composites*, 123, 104193. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104193>

11. Karzad, A. S., Leblouba, M., Al-Toubat, S., & Maalej, M. (2019). Repair and strengthening of shear-deficient reinforced concrete beams using carbon fiber reinforced polymer. *Composite Structures*, 223, 110963. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.110963>
12. DSTU 9181:2022 (2022). *Guidelines for assessing and predicting the technical condition of road bridges*. (effective from 01.01.2023).

Література

1. Kang, J., Kim, D., Lee, Ch., Kang, J., & Kim, D. (2023). Efficiency study of combined UAS photogrammetry and terrestrial LiDAR in 3D modeling for maintenance and management of fill dams. *Remote Sensing*, 15(8), 2026. <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/8/2026>
2. Xin, X., Hui, J., Chen, L., Liang, M., & Yao, Z. (2025). Monitoring the internal conditions of road structures by smart sensing and *in situ* monitoring technology: A review. *Applied Sciences*, 15(7), 3945. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/7/3945>
3. Hicks, J., Kaushal, V., & Jamali, K. (2022). A comparative review of trenchless cured-in-place pipe (CIPP) with spray applied pipe lining (SAPL) renewal methods for pipelines. *Frontiers in Water*, 4, Article 904821, 1-7. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.904821>
4. Xing, W. (2025). Trenchless rehabilitation materials and technologies for water supply pipes: A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*, 203 (Part A), 107896. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582025011632>
5. Zhao, S., Kang, F., Li, J., & Ma, C. (2021). Structural health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction. *Automation in Construction*, 130, 103875. <https://www.sciencedirect.com/getaccess/pii/S0926580521002831/purchase>
6. Tolomei, C., Beccaro, L., & Cianflone, G. (2023). InSAR-based detection of subsidence affecting infrastructures and urban areas: Case studies and time-series analysis. *Geosciences*, 13. <https://www.mdpi.com/2076-3263/13/5/138>
7. Tretyak, K., Kukhtar, D., & Lipecki, T. (2024). Assessing reservoir dam stability using C-band permanent scatterers InSAR. *Information Technologies, Systems Analysis and Control in Civil and Environmental Engineering (ISTCGCAP)*, 99, 5-14. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2024.99.005>
8. Кузьменко, Е. Д., Мандрик, О. М., & Михайлюк, Р. Й. (2022). Дослідження стану дамби Дністра електричними та електромагнітними методами (район с. Побережжя Івано-Франківської області). *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 25, 34-46.
9. Guemes, A., Mujica, L. E., Río-Velilla, D., & Lopez, A. F. (2025). Structural health monitoring by fiber optic sensors. *Photonics*, 12(6), 604. <https://doi.org/10.3390/photonics12060604>

10. Zhu, H., Wang, T., Wang, Y., & Li, V. C. (2021). Trenchless rehabilitation for concrete pipelines of water infrastructure: A review from the structural perspective. *Cement and Concrete Composites*, 123, 104193. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104193>
11. Karzad, A. S., Leblouba, M., Al-Toubat, S., & Maalej, M. (2019). Repair and strengthening of shear-deficient reinforced concrete beams using carbon fiber reinforced polymer. *Composite Structures*, 223, 110963. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.110963>
12. ДСТУ 9181:2022 (2022). *Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів.* (чинний від 01.01.2023).

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O. G. Dobrovolska

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-7216>
Department of Urban Planning and Architecture
Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhia, 226 Sobornyi Avenue, Ukraine, 69006

O. M. Fostashchenko*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4287-2838>
Department of Urban Planning and Architecture
Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhia, 226 Sobornyi Avenue, Ukraine, 69006

A. V. Banakh

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0517-2157>
Department of Urban Planning and Architecture
Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhia, 226 Sobornyi Avenue, Ukraine, 69006

*corresponding author, e-mail: zdia207@gmail.com

Monitoring the technical condition and functional suitability of transport infrastructure, engineering structures and equipment in urban development

How to Cite:

Dobrovolska, O. G., Fostashchenko, O. M., Banakh, A. V. (2025). Monitoring the technical condition and functional suitability of transport infrastructure, engineering structures and equipment in urban development. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 143-154. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-11)

Abstract. The article presents the results of monitoring, technical inspection, and major repair of a transport-hydraulic structure – a dam with a culvert located within urban development. A set of measures aimed at ensuring slope stability, improving drainage efficiency, and reducing the risks of structural failure under hydrodynamic and traffic loads is described. In global practice, such tasks are solved through the integration of remote monitoring methods (UAV photogrammetry, InSAR, fiber-optic sensing) and

trenchless rehabilitation technologies (CIPP, SAPL), which minimize roadway disruption and ensure long-term reliability of infrastructure.

A comprehensive assessment of the technical condition was carried out using visual, geodetic, ultrasonic, and impact-impulse methods. It was found that the culvert was in a limited operational condition due to soil erosion, masonry destruction, and deterioration of concrete channel lining. The main causes of defects were prolonged operation without repairs, dynamic loads from traffic, and the malfunction of surface water drainage.

The proposed repair measures included restoring the protective concrete layer of culverts with polymer-cement mortar, crack injection, construction of a new compacted embankment with reinforced slopes, concrete lining of the channel, and modernization of the drainage system. After completion, the structure's functionality was restored, slope stability improved, and soil erosion risks reduced. The installation of new stormwater inlets and inspection wells, along with proper longitudinal and transverse road gradients, ensured effective surface runoff drainage and improved traffic safety.

The results obtained confirm the feasibility of using a combined systems approach to the inspection and repair of engineering structures. The integration of modern monitoring methods and restoration technologies ensures accurate defect diagnostics, reduces repair duration, and lowers maintenance costs. The implemented technical solutions have demonstrated their effectiveness in enhancing embankment stability, drainage reliability, and overall structural durability under conditions of dense urban development. The conducted study has practical significance for further improvement of monitoring and rehabilitation systems for engineering facilities during the post-war reconstruction period, taking into account the principles of sustainable development and civil safety.

Keywords: technical condition monitoring; dam overhaul; culvert; polymer-cement rehabilitation; drainage system.

УДК 711.4:727.7:725.212:624.04

І. В. Задорожнікова*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-75283>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

І. Г. Абрамюк

к. арх., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6802-0284>

Інститут архітектури та урбаністики

Практична лабораторія історії архітектури і урбаністики та охорони пам'яток

Зеленогурський Університет, вул. проф. З. Шафран, 1 Зелена Гора,

Польща, 65-516

І.О. Парфентьєва

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6116-4509>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

М. В. Смаль

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О. В. Верешко

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1892-1153>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: zair.ua29@gmail.com

Елементи сучасної містобудівної структури у контексті конструктивно-планувальних особливостей та перспектив розвитку центрів дизайну

Цитувати як:

Задорожнікова, І.В., Абрамюк, І.Г., Парфентьєва, І.О., Смаль, М.В., Верешко, О.В. (2025). Елементи сучасної містобудівної структури у контексті конструктивно-планувальних особливостей та перспективи розвитку центрів дизайну. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 155-163. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-12)

© 2025, Задорожнікова І.В., Абрамюк І.Г., Парфентьєва І.О., Смаль М.В., Верешко О.В.

У статті наведено результати досліджень ролі центрів дизайну та креативних хабів у сучасному містобудуванні як важливих елементів міської екосистеми, які сприяють інноваціям, культурному розвитку та економічному зростанню. Розглянуто конструктивно-планувальні схеми будівель центрів дизайну, включно з каркасними, монолітними, стовпчато-стіновими, оболонковими, модульними та легкими тимчасовими системами, та обґрунтовано їх вибір залежно від функціональних потреб і архітектурної виразності. Окрему увагу приділено принципам планування: зонуванию за інтенсивністю відвідування, гнучкості простору, інтеграції з міським середовищем, технічним вимогам до експозицій та використанню цифрових інструментів для оптимізації

проектування. Визначено ключові функції таких центрів: платформи для професійної комунікації та освіти, публічні виставкові простори, магніти для креативних стартапів і складові культурного бренду міста. Проаналізовано принципи розміщення центрів дизайну в різних міських контекстах у центральних частинах, житлових районах, поблизу парків та промислових зон, а також за межами міста, врахуванням транспортної доступності, озеленення, можливості майбутнього розширення та культурно-історичних аспектів території. Підкреслено, що ефективне проектування центрів дизайну має базуватися на пріоритетах сучасного містобудування: адаптивності функцій, інтеграції з міською тканиною та принципах сталого розвитку, що забезпечує їх довготривалу цінність як культурних і креативних активів міста. Матеріали можуть бути використані для планування нових креативних просторів, удосконалення існуючих об'єктів та розробки містобудівних стратегій із врахуванням сучасних технологій та соціокультурних потреб громади.

Ключові слова: центри дизайну, містобудування, конструктивно-планувальні схеми, урбанізоване середовище, адаптивність, інтеграція

Вступ

У сучасному містобудуванні центри дизайну та креативні хаби розглядаються як важливі елементи міської екосистеми, що стимулюють інновації, культурний розвиток та економічне зростання. Формування ефективного простору для діяльності дизайнерів, виставок, лекцій і коворкінгів вимагає узгодження планувальної структури та конструктивної схеми будівлі з відкритим міським контекстом, інфраструктурою та політикою сталого розвитку. Разом із тим, існує потреба у дослідженні їх конструктивно-планувальних особливостей та принципів розташування у різних урбаністичних контекстах, що дозволяє підвищити ефективність інтеграції цих об'єктів у міське середовище та забезпечити довготривалу цінність для громади. Питання планування таких центрів тісно пов'язане з пріоритетами сучасного містобудування: адаптивність функцій, інтеграція з міською забудовою, доступність та екологічність.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Дослідження вітчизняних та зарубіжних авторів показують різноманіття підходів до організації центрів дизайну: використання каркасних, монолітних, модульних і оболонкових конструкцій, зонування простору за функціональністю та інтенсивністю відвідування [1, 2, 5, 6, 7, 8]. Проте питання оптимального поєднання конструктивних систем із соціокультурною роллю таких центрів залишаються недостатньо вивченими. Це обумовлює необхідність комплексного аналізу та розробки рекомендацій щодо планування, адаптації та розвитку центрів дизайну у сучасних містобудівних структурах.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є визначення конструктивно-планувальних особливостей центрів дизайну та формулювання рекомендацій щодо їх ефективної інтеграції у міське середовище.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні типи конструктивно-планувальних схем (каркасні, монолітні, модульні, оболонкові).
2. Дослідити принципи розташування центрів дизайну у різних міських контекстах.
3. Визначити ключові функції центрів дизайну як креативних і культурних платформ.

Матеріали та методи. Методикою досліджень передбачено комбінований підхід:

- Аналіз літературних джерел щодо сучасних тенденцій у містобудуванні та плануванні центрів дизайну.
- Порівняльний аналіз конструктивних схем (каркасні, монолітні, модульні, оболонкові) за критеріями функціональності, гнучкості та архітектурної виразності.

Результати та обговорення .

Роль центру дизайну у міському середовищі. Центри дизайну виконують кілька ключових ролей: платформа для професійної комунікації й освіти, публічний виставковий простір, магніт для креативних стартапів і складова культурного бренду міста. Політики та планувальники, що прагнуть зробити місто «креативним», повинні розглядати такі заклади не лише як окремі проекти, а як стратегічні інвестиції в розвиток культурної та креативної економіки. Звіт World Bank та моніторинг UNESCO наголошують на тому, що культурна інфраструктура та мережеві кластери — важливі чинники конкурентоспроможності міст [3, 4].

Конструктивно-планувальні схеми, класифікація та застосування

Для центрів дизайну практично використовуються такі конструктивно-планувальні схеми (їхня суть та причинність вибору):

1. Каркасна схема (колони + плити/балки). Дає вільні великі прольоти і максимальну гнучкість, таке планування підходить для виставкових залів, експозиційних та універсальних просторів, де можливі часті перепланування або зміна експозицій. Каркасні рішення, як у монолітному ЗБВ або сталевому каркасі, забезпечують адаптивність до майбутніх змін функції.
2. Монолітна схема. Монолітний залізобетон дозволяє створювати складні пластичні об'єми та атріуми, зручна для архітектурно виразних рішень і інтеграції інженерних систем у товщу конструкції. Підходить для проектів, де архітектурна форма і жорсткість конструкції визначальні.
3. Стовпчато-стінова (комбінована) схема. Це є компроміс між міцністю та гнучкістю, в даному випадку частину навантаження сприймають несучі стіни, а іншу частину сприймає каркас. Застосовують у будівлях середньої поверховості з різнофункціональними зонами.

4. Оболонкові та просторові системи. Куполи, сітчасті оболонки чи вантові системи використовують для атріумів і безопорних просторів, коли потрібні великі вільні площі та виразна естетика фасаду. Такі прийоми часто використовують у виставкових павільйонах.

5. Модульна/блочно-секційна схема. Модульні блоки дають швидкий монтаж, можливість додавання секцій у майбутньому та гнучку конфігурацію простору, що є корисно для тимчасових або масштабованих хабів [9].

6. Легкі конструкції і тимчасові павільйони (пневматичні, вантові). Застосовуються для сезонних подій, виставок на відкритому просторі чи як експериментальні простори. Швидкий монтаж/демонтаж і мала вага є їхньою перевагою.

Планувальні принципи для центрів дизайну

При проектуванні планувальної схеми важливо врахувати такі принципи:

- Зонування за інтенсивністю відвідування: публічні виставкові простори (висока прохідність), нейтральні освітні/семінарні зони та закриті студії/майстерні (контрольований доступ).

- Гнучкість простору: використання мобільних перегородок, каркасних систем і універсальних модулів для швидкої трансформації.

- Інтеграція з міським простором: вхідні осі, публічні площі, ланцюги пішохідного руху й видимість з вулиці підвищують присутність центру в міській тканині.

- Технічні вимоги до виставкових площ: електропостачання, інженерні ніші, система контролю клімату й освітлення, все це є критично важливим для експозицій. Наукові публікації останніх років також розглядають застосування цифрових інструментів (CGAN, BIM) для оптимізації планування виставкових залів.

Перспективи та пріоритети розвитку в контексті містобудування

1. Адаптивність і трансформованість, важливий пріоритет при проектуванні. Центри мають легко змінювати функції залежно від суспільного запиту.

2. Інтеграція в міські кластери. Має бути синергія з креативними індустріями, освітою і громадськими ініціативами, це підвищує ефективність інвестицій у культурну інфраструктуру.

3. Сталий дизайн який поєднує енергетичну ефективність, відповідальні матеріали та адаптацію до кліматичних викликів. Сучасні виставки й проекти дедалі більше орієнтуються на «більш ніж людську» перспективу та екосистемний підхід.

Принципи розташування центрів дизайну в міській забудові

Основні принципи містобудівних умов розміщення центрів дизайну в урбанізованому середовищі повинні враховувати і функціональні, і нормативні вимоги до генерального плану, а також забезпечувати

можливість реконструкції або розширення існуючих будівель в майбутньому.

В результаті аналізу існуючої забудови було виділено п'ять основних способів розміщення таких центрів на території населеного пункту, враховуючи масштаб містобудівного планування: 1) у центральній частині міста; 2) у закритих промислових зонах; 3) поблизу паркових територій; 4) у житлових районах; 5) за межами міста (рис. 1).

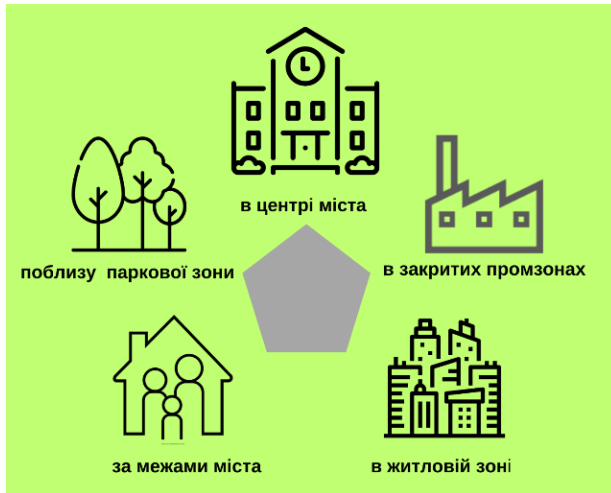


Рис.1. Зони розміщення центрів дизайну

Розташування центрів дизайну в житлових кварталах сприяє наближенню мистецтва до широкого кола мешканців та стимулює розвиток локальних культурних осередків.

Вибір майданчика для будівництва повинен враховувати численні фактори, аналогічні до тих, що застосовуються при розміщенні музеїв:

1. Поширення сучасного мистецтва, реалізація соціальних і освітніх цілей, а також науково-мистецька діяльність.
2. Призначення центру: освітня, виставкова, дозвілєва чи комбінована функція; його роль у загальній мережі (центральна будівля або філія).
3. Особливості населеного пункту: чисельність і структура населення, перспективи розвитку міста, історичні аспекти території, потенціал туристичної привабливості.
4. Природні умови: рельєф, геологія, кліматичні характеристики, рослинність, водойми, площа та конфігурація ділянки.
5. Містобудівна ситуація: наявність культурних установ, місць для відпочинку, можливість майбутнього розширення центру.

6. Транспортна доступність: розвиненість громадського транспорту, під'їзні дороги, автостоянки, пішохідні зв'язки.
7. Техніко-економічні показники: забезпечення інженерної інфраструктури, організація доріг та благоустрій території.
8. Спеціальні вимоги: врахування культурних особливостей регіону, інтеграція архітектури та ландшафту в експозиційні простори, організація виставок на відкритих майданчиках.

На основі аналізу сформовано основні функціональні критерії вибору місця забудови: зручне транспортне сполучення з різними районами міста, близькість до залізничного та автовокзалу, наявність зелених зон та резервних територій для можливого розширення будівлі.

Висновок

У ході дослідження визначено, що центри дизайну відіграють ключову роль у формуванні креативної міської інфраструктури, забезпечуючи платформу для професійної взаємодії, культурної діяльності та розвитку інноваційних стартапів. Проведений порівняльний аналіз конструктивно-планувальних схем підтвердив, що каркасні, монолітні, модульні, оболонкові та комбіновані системи мають різні переваги у контексті гнучкості, архітектурної виразності та функціональної адаптивності. Вибір схеми визначається потребами експозиційних, навчальних і публічних просторів, а також вимогами до можливого перепланування чи масштабування. Це дозволяє формувати будівлі, здатні ефективно реагувати на зміну суспільних запитів і технологічних тенденцій.

Дослідження принципів розміщення центрів дизайну виявило, що найбільшу містобудівну цінність забезпечують локації, інтегровані в транспортні та пішохідні зв'язки, оточені культурними об'єктами або зеленими зонами та забезпечені можливістю майбутнього розширення. Зонування території, функціональна структура району, транспортна доступність і природні умови суттєво впливають на ефективність роботи таких центрів у міській екосистемі.

Визначені ключові функції центрів дизайну: комунікаційна, освітня, виставкова, інноваційно-стартапна – підтверджують їх стратегічну роль у розвитку креативної економіки та підвищенні культурної привабливості міста. Їх вплив виходить за межі окремих будівель, формуючи локальні кластери та зміцнюючи культурний бренд території.

Таким чином, дослідження забезпечило комплексний науково-практичний внесок у формування принципів планування та розвитку центрів дизайну.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший,

який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Kostjuchenko, O. A., Bolotov, G. I., & Birillo, I. V. (2020). Special aspects of architectural and planning arrangement of art centres in Ukraine. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research (IJETMR20_A02_2034)*, 7(2). India. ISSN 2454-1907. <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v7.i2.2020.523>
2. Lutsenko, A., Kolosova, N., & Vasylenko, V. (2023). Design solutions of atypical art centers. *Theory and Practice of Design*, (28), 173–182. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.19>
3. The Hidden Wealth of Cities: Creating, Financing, and Managing Public Spaces. – Washington, DC: World Bank, 2020. – 262 p. – DOI: 10.1596/978-1-4648-1449-5.
4. UNESCO. Culture 2030 Indicators: Measuring Culture's Contribution to the 2030 Agenda for Sustainable Development. – Paris: UNESCO, 2022. – URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379694>
5. Pawlak, A., & Fross, K. (2021). Art in post-industrial facilities — strategies of adaptive reuse for art exhibition function in Poland. *Buildings*, 11(487). <https://doi.org/10.3390/buildings11100487>
6. Birillo, I. V., & Kostjuchenko, O. A. (2018). Development of art centers in Poland. *Urban Environment – 21st Century. Architecture. Construction. Design: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Congress (Kyiv, 2018)*. Kyiv: National Aviation University, pp. 263–264. Retrieved from https://fgsa.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2024/04/2018_Tez_c.pdf
7. Kostjuchenko, O. A. (2018). Architectural and typological models of art centers. *Modern Problems of Architecture and Urban Planning*, (52), 71–77. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture. Retrieved from <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/01/2018/201852.pdf>
8. Xiao, M., Zhang, Y., & Chen, L. (2023). The floor plan design method of exhibition halls in CGAN assisted museum architecture. *Buildings*, 13(3), Article 756. <https://doi.org/10.3390/buildings13030756>
9. Novyk, Kh., Hnatyuk, L., Vyzyr, A. (2022). Practicality of modular construction: Experience of the past and prospects. *Theory and Practice of Design*, (25), 76–84. <https://doi.org/10.18372/2415-8151.25.16783>

Література

1. Kostjuchenko O.A., Bolotov G.I., Birillo I.V. Special aspects of architectural and planning arrangement of art centres in Ukraine. International Journal of Engineering Technologies and Management Research (IJETMR20_A02_2034), India, 2020, V7(2). ISSN - 2454-1907, DOI: 10.29121/ijetmr.v7.i2.2020.523
2. Lutsenko, A., Kolosova, N., & Vasilenko, V. (2023). DESIGN SOLUTIONS OF ATYPICAL ART CENTERS. Theory and Practice of Design, (28), 173–182. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.19>
3. The Hidden Wealth of Cities: Creating, Financing, and Managing Public Spaces. – Washington, DC: World Bank, 2020. – 262 p. – DOI: 10.1596/978-1-4648-1449-5.
4. UNESCO. Culture 2030 Indicators: Measuring Culture’s Contribution to the 2030 Agenda for Sustainable Development. – Paris: UNESCO, 2022. – URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379694>
5. Pawlak, A., & Fross, K. Art in post-industrial facilities — strategies of adaptive reuse for art exhibition function in Poland // Buildings. – 2021. – Vol. 11, No. 487. – DOI: 10.3390/buildings11100487. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/10/487>
6. Бірілло І. В., Костюченко О. А. Розвиток арт-центрів у Польщі // Міське середовище – XXI сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн: тези доповідей III Міжнародного науково-практичного конгресу (Київ, 2018 р.). – Київ: НАУ, 2018. – С. 263–264.: https://fgsa.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2024/04/2018_Tez_c.pdf.
7. Костюченко О.А. Архітектурно-типологічні моделі арт-центрів. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ, 2018. Вип. 52.С. 71-77. https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/01/2018/201852.pdf?utm_source=chatgpt.com
8. Xiao M., Zhang Y., Chen L. The floor plan design method of exhibition halls in CGAN assisted museum architecture // Buildings. – 2023. – Vol. 13, No. 3. – Article 756. – DOI: 10.3390/buildings13030756. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/3/756>
9. Новик, Х., Гнатюк, Л., Визир, А. (2022). Практичность модульного строительства: опыт прошлого и перспективы. *Теория и практика проектирования*, (25), 76–84. <https://doi.org/10.18372/2415-8151.25.16783>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 16.11.2025	Received in revised form 16.11.2025
Прийнято 20.11.2025	Accepted 20.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

I. V. Zadorozhnikova*

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-75283>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

I.H. Abramiuk

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6802-0284>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

I.O. Parfentyeva

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6116-4509>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

M.V. Smal

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

O. V. Vereshko

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1892-1153>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: zair.ua29@gmail.com

Elements of contemporary urban planning structure in the context of the constructive and planning features and development prospects of design centers

How to Cite:

Zadorozhnikova I. V., Abramiuk I. H., Parfentyeva I.O., Smal M.V., Vereshko O. V. (2025). Elements of contemporary urban planning structure in the context of the constructive and planning features and development prospects of design centers. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 155-163. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-12)

Abstract. The article presents the results of research on the role of design centers and creative hubs in contemporary urban development as key elements of the urban ecosystem that promote innovation, cultural development, and economic growth. The study examines the structural and planning schemes of design center buildings, including frame, monolithic, column-and-wall, shell, modular, and lightweight temporary systems, and justifies their selection depending on functional requirements and architectural expressiveness. Special attention is given to planning principles: zoning based on visitor intensity, spatial flexibility, integration with the urban environment, technical requirements for exhibitions, and the use of digital tools to optimize design. The key functions of such centers are identified: platforms for professional communication and education, public exhibition spaces, magnets for creative startups, and components of the city's cultural brand. Principles for locating design centers in different urban contexts are analyzed—central areas, residential neighborhoods, near parks and industrial zones, as well as outside the city—considering transport accessibility, landscaping, potential for future expansion, and cultural-historical aspects of the territory. It is emphasized that effective design of design centers should be based on the priorities of contemporary urban planning: functional adaptability, integration with the urban fabric, and sustainable development principles, ensuring their long-term value as cultural and creative assets of the city. The materials can be used for planning new creative spaces, improving existing facilities, and developing urban planning strategies that take into account modern technologies and the socio-cultural needs of the community.

Keywords: design centers, urban planning, structural and planning schemes, urbanized environment, adaptability, integration

УДК 711.4

О. П. Захарчук*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

П. В. Попович

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

М. В. Буряк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-1498>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

А. Є. Буяк

к.е.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3756-6687>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

М. Я. Шпінталь

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9864-7050>

Кафедра комп'ютерних наук

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

*автор-кореспондент, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com

Ефективність застосування BIM-технологій: аналіз програмних рішень

Цитувати як:

Захарчук, О.П., Попович, П.В., Буряк, М. В., Буяк, А.Є., Шпінталь, М.Я. (2025). Ефективність застосування BIM-технологій: аналіз програмних рішень, *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 164-172. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-13](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-13)

© 2025, Захарчук О.П., Попович П.В., Буряк М. В., Буяк А.Є., Шпінталь М.Я.

У статті розглянуто сучасні тенденції впровадження BIM в архітектурні та цивільні проекти, проведено оцінку ефективності командної роботи. На основі наданих статистичних даних вдалося визначити, що близько 70% будівельних компаній у всьому світі використовують BIM –технології [1]. Було проаналізовано популярне програмне забезпечення, включаючи Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Bentley OpenBuildings Designer та Allplan Architecture, при чому лідером серед програмних продуктів залишається Revit. Основні проблеми, які були виділені на першому етапі дослідження літератури – це відсутність уніфікованих стандартів обміну даними, обмежена сумісність між платформами та складність співпраці у багатoproфільних групах. Особливу увагу було приділено особливостям їх впровадження на різних архітектурних етапах, від концептуального містобудування до належного формування цифрових двійників.

Основною перевагою BIM було визначено здатність фахівців різного профілю взаємодіяти в одній цифровій моделі, тим самим підвищуючи точність, узгодженість та ефективність виконання проекту. Моделювання порівняння

ефективності командної роботи було проведено на основі хмарних платформ Autodesk BIM360, Graphisoft BIMcloud, Bentley ProjectWise та Trimble Connect. Результати дослідження показують, що найвищий ступінь інтеграції, контролю версій та безпеки даних забезпечує Autodesk Construction Cloud, моді як Bentley найкраще підходить для великих інфраструктурних проєктів. Крім того, було також підкреслено важливість поєднання BIM та ГІС (геоінформаційної системи) для сталого розвитку «розумної урбанізації», покращення управління міськими ресурсами та просторовими даними й успішної реалізації єдиної концепції міста. Були надані рекомендації щодо вибору програмного забезпечення залежно від типу та складності проєкту.

Ключові слова: BIM, CAD, містобудування, інформаційне моделювання, хмарні платформи, командна взаємодія, цифровий двійник.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Згідно з останнім оглядом науково-технічних джерел, цифровізація будівельної галузі значною мірою залежить від САПР (систем автоматизованого проєктування) та BIM (Building Information Modeling). У той час як технології САПР в першу чергу зосереджені на автоматизації процесів креслення та геометричного моделювання, підхід BIM пропонує комплексний погляд на управління інформацією про об'єкт включно із його експлуатаційними характеристиками. Згідно з даними дослідження, використання інструментів BIM, дозволяє зменшити кількість помилок у проєкті [2], що відповідно веде до зниження середньої вартості будівництва на 20 відсотків, дозволяє підвищити точність розрахунків та скоротити термін проєктування на 25 відсотків [3]. На сьогодні питання ефективності підходу BIM у будівництві будівель залишається предметом взаємодії відкритої команди, вибору найбільш корисного програмного забезпечення тощо. Проблема полягає у відсутності стандартизації програмних продуктів та їх обмежених сумісності, що ускладнює роботу людей у процесах містобудування. Таким чином, необхідно переглянути стан сучасного ринку програмних продуктів BIM та їх корисність для етапів містобудівного проєкту.

Мета і завдання дослідження. Метою проведеного дослідження є проведення аналізу програмного забезпечення для BIM з визначенням ефективності платформ для забезпечення потреб будівельної галузі. Завдання дослідження є оцінка ефективності командної роботи популярних BIM-систем, що передбачає здійснення порівняльного аналізу програмних продуктів для створення інформаційних моделей у контексті сучасного будівництва. Спираючись на отримані результати сформулювати висновки та рекомендації щодо доцільності використання окремих програмних платформ для забезпечення різних завдань містобудівних проєктів.

Матеріали та методи

Дослідження проводилося шляхом систематичного аналізу науково-технічних джерел та регіональних звітів. Було проведено контент-аналіз даних ринку програмного забезпечення BIM у США та Європі протягом 2023-2024 років, а також статистичне узагальнення проведених опитувань фахівців у галузі будівництва. Ефективність платформ оцінювалася за допомогою порівняльного методу, який включав такі критерії: рівень взаємодії з хмарою, швидкість синхронізації даних, підтримка відкритого формату IFC [4], одночасність користувачів, ступінь інтеграції з іншими системами (CAD, GIS, програми оцінки вартості).

Результати та обговорення

Переважаюча більшість фахівців у галузі будівництва, до 70%, відзначають, що вони впровадили BIM [1, 5]. При цьому рівень впровадження зростає до 73% серед консультантів і, що, можливо, не дивно, нижчий (53%) для клієнтів [1]. Поряд з тим кількість компаній, які мають малу кількість працівників (до 25) та тих, хто працює на ринку відносно довго мають порівняно нижчий рівень впровадження BIM технологій у виробництво (59%), також 22 % не планують впровадження впринципі [1]. Приблизно на такому ж рівні рівень використання BIM і в США [5]. Через недостатню технічну готовність серед підрядників відсоток впровадження інформаційних технологій суттєво нижчий, особливо використання таких платформ, як Bentley OpenBuildings Designer, Autodesk Civil 3D, Trimble Tekla Structures, які мають розширені інструменти 4D/5D (рис.1) [6].

Для забезпечення потреб містобудування застосовується програмне забезпечення різного спрямування (табл. 1). Для потреб містобудування широко використовується програма Revit, розроблена компанією Autodesk. Основною перевагою є можливість виконувати проектування проекту на всіх етапах, від ескізування, створення архітектурних креслень, конструктивних до інтеграції з геоінформаційними даними [7]. Ця програма часто працює у поєднанні з AutoCAD Civil 3D або InfraWorks, що дозволяє забезпечити багаторівневе узгодження проектних рішень, від окремих будівель до цілих міських територій.

У свою чергу, провідною програмою, в якій здійснюється інформаційне моделювання об'єкту в архітектурному та містобудівному моделюванні стала програма ArchiCAD від компанії Graphisoft. Її використовують для формування BIM-моделей житлових масивів, об'єктів громадського призначення, також для розробки генпланів великих забудов на територіях міських комплексів. ArchiCAD підтримує відкритий формат IFC для обміну даними з іншими програмами BIM та має інтуїтивно зрозумілий зручний інтерфейс [7]. Набір інструментів надає можливість архітекторам проаналізувати об'ємно-просторове рішення та побудувати реалістичну 3D-модель проектів, однак не має таких широких можливостей

для проектування інженерних мереж як Revit, а спеціалізується на архітектурних рішеннях.

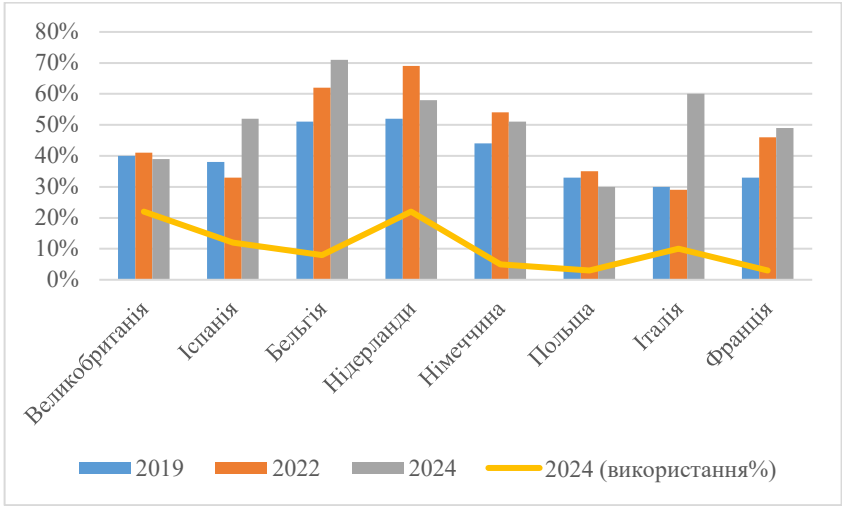


Рис. 1. Тенденція в обізнаності та використанні BIM серед підприємців [6]

Таблиця 1. Рекомендовані програми BIM-моделювання для різних етапів містобудівного проектування

Етап проектування	Рекомендовані програми
Концепція міста	InfraWorks, SketchUp, CityEngine
Генеральне планування	Autodesk Revit, ArchiCAD, Civil 3D
Інженерні мережі	Autodesk Revit, Autodesk Civil 3D, Bentley OpenCities
Аналіз просторових даних	ArcGIS Pro, CityEngine
Ландшафтне проектування	Autodesk Revit, Esri CityEngine та Vectorworks Landmark

Важливе місце серед засобів проектування компоувальних планів та генеральних планів містоінфраструктурних рішень є рішення корпорації Bentley OpenCities та MicroStation, призначені для моделювання підземних комунікацій. Володіє відкритими стандартами обліку даних, підтримує формати IFC, CityGML [8]. Bentley OpenCities дозволяє створювати та управляти цифровими двійниками [9], тобто містоінфраструктурними конструкціями, за допомогою яких місцеві органи місцевого самоврядування можуть спостерігати за станом комунальної інфраструктурного об'єкта, планування та контролю виконання. Ці системи використовуються у доступній державами ЄС.

На практиці для забезпечення потреб містобудування використовується комплексний підхід кількох програм, кожна з яких виконує свою роль на певному етапі проектування. На стадії концепту та візуалізації міського середовища найчастіше застосовуються InfraWorks, SketchUp і CityEngine. Для розробки генеральних планів і детальних архітектурних рішень використовуються Revit, ArchiCAD і Civil 3D. У проектуванні інженерної інфраструктури перевагу мають Revit, Civil 3D і Bentley OpenCities, тоді як для геоаналітики та управління просторовими даними застосовуються ArcGIS Pro та CityEngine. Ландшафтне та екологічне проектування найкраще виконувати у Vectorworks Landmark.

Особливість BIM моделювання полягає не лише в створенні інформаційної моделі проекту, а й можливості ефективної командної взаємодії, завдяки чому фахівці кожної галузі мають можливість працювати спільно над одним проектом. Створення єдиної цифрової моделі дозволяє синхронізувати зміни та забезпечує цілісність проекту. Для цього широко застосовуються хмарні платформи, які дають змогу фахівцям одночасно працювати з проектною моделлю в режимі реального часу.

На основі проведеного дослідження можемо зробити висновок, що у програмі Revit командна робота є найбільш ефективною. На основі платформи BIM 360 або Autodesk Construction Cloud досягається повна хмарна взаємодія, забезпечується синхронізація віддалених копій та контроль доступу учасників проекту [10]

ArchiCAD підтримує концепцію Open BIM для ефективної співпраці між усіма виконавцями та замовниками, підтримує функціональну сумісність та доступність даних. ArchiCAD інтегрує BIMcloud для спільної роботи в режимі реального часу. Відрізняється простотою роботи та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом [5, 11,12].

Для великих містобудівних проектів доцільно використовувати Bentley OpenBuildings Designer, який володіє високою інтеграцією з інженерними та інфраструктурними рішеннями, хоча налаштування платформи складніші. Використовує корпоративну платформу ProjectWise для зберігання та обміну даними, котра фіксує усі зміни і дає можливість порівняти різні варіанти.

Програма Allplan забезпечує базову координацію між спеціалістами через хмару без локального сервера Allplan Cloud., однак їхні можливості хмарної взаємодії менш розвинені, що обмежує ефективність у великих міждисциплінарних командах. Забезпечує міжнародну координацію через Bimplus і універсальний відкритий формат файлів IFC [5,9].

Висновки

Були розглянуті найбільш поширені програмні засоби, що використовуються у містобудуванні. Дослідження підтвердило, що перехід від CAD до BIM є закономірним етапом розвитку цифрового проектування

в містобудуванні. Засобами комплексного інформаційного моделювання (BIM) користувачів найчастіше визнають Autodesk Revit, InfraWorks та Bentley OpenCities, що дає повну інтеграцію даних і можливість командної роботи в режимі реального часу. Такі інструменти, як Graphisoft ArchiCAD та Trimble SketchUp, проявляють себе досить зручними у сфері архітектурних і концептуальних завдань, а Esri CityEngine та Vectorworks Landmark є найбільш ефективними рішеннями для геоаналітики та ландшафтного моделювання. Командна робота та взаємодія в рамках BIM вимагає насамперед рівня інтеграції, можливості одночасної роботи, швидкості синхронізації та гнучкості управління доступом. Для містобудування найбільш результативними є Autodesk Revit та Bentley OpenBuildings, які забезпечують комплексну співпрацю між усіма учасниками проєкту. ArchiCAD також залишається популярним рішенням завдяки зручному інтерфейсу та стабільності командної роботи.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. NBS. (2023). Digital Construction Report 2023 [Elektronnyi resurs]. Newcastle upon Tyne : The NBS. Retrieved from <https://www.thenbs.com/digital-construction-report-2023>
2. Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>
3. Das, K., Khurshed, S., & Paul, V. K. (2025). The impact of BIM on project time and cost: insights from case studies. *Discover Materials*, 5, article 25. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00200-2>
4. Trzeciak, M., & Borrmann, A. (2018). Design-to-design exchange of bridge models using IFC: A case study with Revit and Allplan. In *Work and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction* (pp. 9). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429506215-29>

5. Waas, L., & Enjellina. (2022). Review of BIM-Based Software in Architectural Design: Graphisoft ArchiCAD vs Autodesk Revit. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture (JARINA)*, 1(2), 14–22. <https://doi.org/10.24002/jarina.v1i2.6016>
6. USP Research. (2024). *Report Impression Contractor Monitor H2 2024* [Elektronnyi resurs]. Retrieved from <https://www.usp-research.com/wp-content/uploads/2025/02/Report-Impression-Contractor-Monitor-H2-2024.pdf>
7. Habte, B., & Guyo, E. (2021). Application of BIM for structural engineering: a case study using Revit and customary structural analysis and design software. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 26, 1009–1022. https://itcon.org/papers/2021_53-ITcon-Habte.pdf
8. Tan, Y., Liang, Y., & Zhu, J. (2023). CityGML in the Integration of BIM and GIS: Challenges and Opportunities. *Buildings*, 13(7), Article 1758. <https://doi.org/10.3390/buildings13071758>
9. Boccardo, P., La Riccia, L., & Yadav, Y. (2024). Urban Echoes: Exploring the Dynamic Realities of Cities through Digital Twins. *Land*, 13(5), Article 635. <https://doi.org/10.3390/land13050635>
10. Chielaru B. (2025). BIM and cloud-based tools integration for BREEAM in educational buildings. *Journal of Building Engineering*. 26 (7). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.1015634>
11. Ali, S. B. M., Mehdi poor, A., Johari, N. S., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2022). Modeling and Performance Analysis for High-Rise Building Using ArchiCAD: Initiatives towards Energy-Efficient Building. *Energy Technology and Sustainable Energy Systems*, 14(15), Article 9780. <https://doi.org/10.3390/su14159780>
12. Synii, S., Krantovska, O. M., Ksonshkevych, L. M., Ksonshkevych, A., & Sunak, P. (2024). Rol informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii u metodolohii doslidzhen obektiv budivnytstva. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, (21), 198–206. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-21)

Література

1. NBS. (2023). *Digital Construction Report 2023* [Електронний ресурс]. Newcastle upon Tyne : The NBS. Retrieved from <https://www.thenbs.com/digital-construction-report-2023>
2. Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>
3. Das, K., Khursheed, S., & Paul, V. K. (2025). The impact of BIM on project time and cost: insights from case studies. *Discover Materials*, 5, article 25. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00200-2>
4. Trzeciak, M., & Borrmann, A. (2018). Design-to-design exchange of bridge models using IFC: A case study with Revit and Allplan. In *Work and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction* (pp. 9). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429506215-29>
5. Waas, L., & Enjellina. (2022). Review of BIM-Based Software in Architectural Design: Graphisoft ArchiCAD vs Autodesk Revit. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture (JARINA)*, 1(2), 14–22. <https://doi.org/10.24002/jarina.v1i2.6016>
6. USP Research. (2024). *Report Impression Contractor Monitor H2 2024* [Електронний ресурс]. Retrieved from <https://www.usp-research.com/wp-content/uploads/2025/02/Report-Impression-Contractor-Monitor-H2-2024.pdf>

7. Habte, B., & Guyo, E. (2021). Application of BIM for structural engineering: a case study using Revit and customary structural analysis and design software. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 26, 1009–1022. https://itcon.org/papers/2021_53-ITcon-Habte.pdf
8. Tan, Y., Liang, Y., & Zhu, J. (2023). CityGML in the Integration of BIM and GIS: Challenges and Opportunities. *Buildings*, 13(7), Article 1758. <https://doi.org/10.3390/buildings13071758>
9. Boccardo, P., La Riccia, L., & Yadav, Y. (2024). Urban Echoes: Exploring the Dynamic Realities of Cities through Digital Twins. *Land*, 13(5), Article 635. <https://doi.org/10.3390/land13050635>
10. Chielaru B. (2025). BIM and cloud-based tools integration for BREEAM in educational buildings. *Journal of Building Engineering*, 26 (7). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.1015634>
11. Ali, S. B. M., Mehdipoor, A., Johari, N. S., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2022). Modeling and Performance Analysis for High-Rise Building Using ArchiCAD: Initiatives towards Energy-Efficient Building. *Energy Technology and Sustainable Energy Systems*, 14(15), Article 9780. <https://doi.org/10.3390/su14159780>
12. Синій, С., Крантовська, О. М., Ксьоншкевич, Л. М., Ксьоншкевич, А., & Сунак, П. (2024). Роль інформаційно-комунікаційних технологій у методології досліджень об'єктів будівництва. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, (21), 198–206. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-21)

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O. P. Zakharchuk*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>
 Department of Transport and Logistics
 Western Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

P. V. Popovych

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>
 Department of Transport and Logistics
 Western Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

M. V. Buryak

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-1498>
 Department of Transport and Logistics
 Western Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

A. E. Buyak

Ph.D. in Economics, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3756-6687>
 Department of Transport and Logistics
 Western Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

M. Ya. Shpintal

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9864-7050>
 Department of Computer Science
 Western Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

*corresponding author, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com

The effectiveness of BIM technology: analysis of software solutions

How to Cite:

Zakharchuk O.P., Popovych P.V., Buryak M. V., Buyak A.E., Shpintal M.Ya. (2025). Effectiveness of BIM technology application: analysis of software solutions. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 164-172. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-13](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-13)

Abstract. The article reviews current trends in the implementation of BIM in architectural and civil projects, and assesses the effectiveness of teamwork. Based on the provided statistical data, it was determined that about 70% of construction companies worldwide use BIM technologies [1]. Popular software was analyzed, including Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Bentley OpenBuildings Designer and Allplan Architecture, with Revit remaining the leader among software products. The main problems that were identified at the first stage of the literature review are the lack of unified data exchange standards, limited compatibility between platforms and the complexity of cooperation in multidisciplinary groups. Particular attention was paid to the features of their implementation at different architectural stages, from conceptual urban planning to the proper formation of digital twins. The main advantage of BIM was determined to be the ability of specialists of different profiles to interact in one digital model, thereby increasing the accuracy, consistency and efficiency of project implementation. A team-building efficiency comparison simulation was conducted using the cloud platforms Autodesk BIM360, Graphisoft BIMcloud, Bentley ProjectWise, and Trimble Connect. The study results show that Autodesk Construction Cloud provides the highest degree of integration, version control, and data security, while Bentley is best suited for large infrastructure projects. In addition, the importance of combining BIM and GIS (geographic information system) for the sustainable development of “smart urbanization”, improving the management of urban resources and spatial data, and successfully implementing a unified city concept was also emphasized. Recommendations were provided for the selection of software depending on the type and complexity of the project.

Keywords: BIM, CAD, urban planning, information modeling, cloud platforms, team interaction, digital twin.

УДК 712.25

Ільчук Н.І. *

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7419-2661>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Смаль М.В.

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: ilchuknataliia@lutsk-ntu.com.ua

Реконструкція ландшафтно - рекреаційних зон у м. Луцьку

Цитувати як:

Ільчук, Н.І., Смаль, М.В. (2025). Реконструкція ландшафтно-рекреаційних зон у м. Луцьку. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 173-182. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-14)

© 2025, Ільчук Н.І., Смаль М.В.

У цій статті представлено аналіз розвитку ландшафтно-рекреаційних територій міста Луцька з урахуванням існуючих природних умов середовища, з урахуванням вимог нормативних документів і потреб розвитку території міста.

Авторами проаналізовано існуючі засади інклюзивності рекреаційних територій в урбаністичному контексті, що закріплено в українському нормативно-правовому підґрунті створення безбар'єрного середовища.

У дослідженні наводяться приклади реалізації проектів реконструкції та благоустрою рекреаційних територій міста Луцька. Проведено аналіз сучасного підходу до реконструкції ландшафтно-рекреаційних зон міста з урахуванням потреб суспільства та викликів сьогодення.

Розроблення та реалізація проектів озеленення та благоустрою враховує існуючі природно-кліматичні та рельєфні особливості міста Луцька та регіону.

Проаналізовано принципи інклюзивного підходу при виконанні концептуальних розробок різних типів рекреаційних територій, що дозволяє виокремити універсальні рішення та загальну концепцію розвитку різних територій міста з урахуванням природно-кліматичних умов та особливостей рельєфу, а також з урахуванням планувальної структури міста з урахуванням тенденцій його розвитку.

Автори також звертають увагу на виклики сьогодення, серед яких визначено чіткі підходи, обов'язковий аналіз соціального впливу та громадського обговорення в межах реалізації масштабних проектів по реконструкції території міста для максимального їх пристосування для потреб мешканців.

У статті розглянуто сучасні принципи та норми проведення реконструкції ландшафтно-рекреаційних зон міста Луцька, які використовують при проектуванні та реконструкції парків. Наведено основні проблеми та висвітлено концепцію подальшого розвитку рекреаційних територій міста.

Ключові слова: парк, зелені насадження, благоустрій, майданчики, територія, відпочинок, інклюзивність.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Усі зелені насадження є невід'ємною частиною формування ландшафтно-рекреаційної території міста. Саме вони відіграють роль основних елементів для благоустрою населених пунктів. Крім естетичного, вони мають санітарне значення, захищають житлові території від диму, вихлопних газів, пилу тощо.

Усі парки, сади, алеї і бульвари – це легені міста, які очищають забруднене повітря, вони забезпечують сприятливий мікроклімат, а також оздоровлюють довкілля. Можливість для поєднання різних рослин дозволяє зменшити вплив шкідливих санітарних факторів урбанізації. Додатково, насадження дерев і кущів дозволяють зменшити амплітуду можливих температурних коливань, що збільшує вологість повітря у спекотні дні, що покращує загальне самопочуття мешканців міста [1].

Зелені насадження мають меліоративне, водоохоронне і вітрозахисне значення. Зменшуючи силу вітру, завдяки величезній фільтрувальній поверхні листяного покриву, дерева сприяють осіданню пилових частинок. Повітря на озелених вулицях у 4 рази чистіше, ніж на ділянках, які не мають зеленого покриву, особливо для дерев із фітонцидними властивостями.

Прогулянка природоохоронною зоною міста покращує не лише фізичне самопочуття, але й сприяє розвитку рекреаційних територій міста. Тому для забезпечення урбанізованого середовища міста зеленими природними краєвидами місто потребує розвитку та реконструкції зелених насаджень, які розміщені на території міста.

Парк – це значна територія, близько 10 га, де зелені насадження, водойми та рельєф – все реконструйовано із застосуванням прийомів ландшафтної архітектури та є самостійним архітектурно-організаційним комплексом, де забезпечено сприятливе середовище для відпочинку населення [1].

Мета і завдання дослідження. Метою статті є аналіз та визначення ролі ландшафтно-рекреаційних територій міста для його перспективного розвитку з урахуванням тенденцій інклюзивності та загального благоустрою при реалізації містобудівних проектів.

Матеріали та методи

Центральний парк культури та відпочинку – це зелений масив, який забезпечує умови для відпочинку населення, масових культурно-просвітніх та спортивних заходів різного спрямування. При цьому, зелені насадження займають близько 70 – 80 % його площі. На території прокладають систему

пішохідних доріжок, влаштовують штучні водойми, передбачають різні типи освітлення, споруджують будівлі та майданчики тощо [2]. Необхідно відновити основну функцію меліоративних каналів та їх циркуляцію [4,5,6].

Центральний парк культури та відпочинку ім. Лесі Українки у м. Луцьку, який розміщений у центральній частині міста, з півночі обмежений вулицею Глушечь, з півдня – межею водоохоронної зони р. Стир, із заходу – територією історичної малоповерхової забудови, а зі сходу – водоохоронною зоною р. Стир (рис. 1).

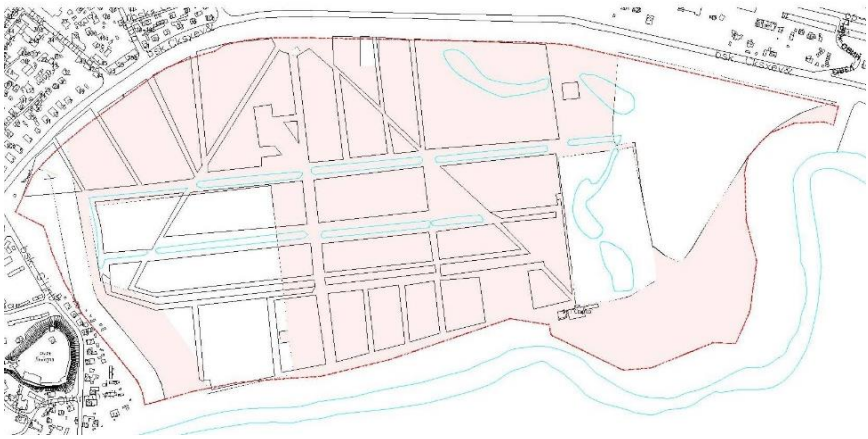


Рис. 1. Схема Центрального парку культури та відпочинку ім. Лесі Українки

Загальна площа території парку – близько 77,57 га. На території також знаходиться КП «Луцький зоопарк», а також зона атракціонів, дитячих ігрових майданчиків, орнітологічний заповідник «Пташиний гай», Луцький іподром, спортивна школа «Спартак», дитяче містечко, відкритий басейн «Ротонда», різні групи споруд комерційного призначення тощо.

Поділ території парку відповідає типовому проектуванню рекреаційних територій міста.

Відповідно до нормативних вимог діючих документів [1,2,3,4], співвідношення функціональних зон території парку необхідно визначати згідно з таблицею 1.

Таблиця 1. Співвідношення функціональних зон території парку [4]

Функціональні зони	Загальноміські парки	Районні парки
	Площа зони, % від загальної площі	Площа зони, % від загальної площі
Культурно–масових закладів	5 – 17	15 – 30
Тихого відпочинку та прогулянок	50 – 75	15 – 45
Культурно–просвітницьких закладів	3 – 8	5 – 35
Відпочинку дітей	5 – 10	0,5 – 1
Культурно–оздоровча зона	10 – 20	0,5 – 25
Господарська зона	1,5	0,5

Отже, територія центрального парку ім. Лесі Українки передбачає виділення необхідних зон, які передбачено зонуванням території.

Результати та обговорення

Парк імені 900-річчя Луцька відрізняється від усіх інших зелених зон міста своїм ландшафтом і характеристиками [5,6,7].

Концепція розвитку та реконструкції парку імені 900-річчя у м. Луцьку передбачає формування сучасного парку, який може обслуговувати до п'ятдесяти тисяч людей. Загальна площа для благоустрою – близько 25 гектарів, яку розширено з 18,6 га [7,8,11].

Через територію парку проходять транзитні шляхи, які будуть використовуватися щоденно мешканцями міста. До парку передбачено шість входів-виходів, але планують збільшити до двадцяти одного, при цьому, кожен тротуар, який веде до парку, повинен бути його продовженням.

На території буде збережено максимальну кількість існуючих доріжок. Усі доріжки будуть виконані з м'яким гравійно-набивним покриттям, так як воно є економічним і легко реставрується. Загальна довжина запроєктованих доріжок – близько 10,5 кілометрів, також передбачено мережу велосипедних доріжок близько 3,5 кілометрів [9,11].



Рис. 2. Проектована територія парку 900-річчя м. Луцька

На території парку заплановано три дитячі ігрові зони для відпочинку, які будуть об'єднані між собою, а саме: каскадний амфітеатр, спортивну зону зі скейт парком, а також мотузковий парк зі скелетромом.

Проектом передбачено три зони для виходу та тренування собак.

Передбачено спорудження двох громадських туалетів, які відповідають вимогам доступності для різних категорій населення. На території буде розміщено смітники для роздільного сміття.

Обов'язковою частиною проекту є облаштування сучасного економного освітлення, яке дасть можливість оновити інсталяцію на території парку.

Територію передбачено максимально озеленити шляхом висадження кущів, дерев і засіванням трави. Існуючі зелені насадження передбачено залишити.

Отже, парк імені 900-річчя Луцька передбачено зробити для сімейного відпочинку, а також для забезпечення відкритого транзиту його територією для покращення зв'язків пішохідного та велоруку усіх мешканців міста.

Зовсім іншою є тенденція проведення робіт нового будівництва лугопарку, які передбачено виконати вздовж річки Стир, на території від мосту на вул. Ковельській до мосту на вул. Шевченка у м. Луцьку [10,12].



Рис. 3. Реконструйована територія парку по вул. Набережній

Проектом передбачено проведення робіт по розчищенню території, вирубуванню частини дерев і розбивці стежин різного призначення.

Концепція розбудови парку фокусується на збереженні місцевих зелених територій з мінімальним втручанням у картину існуючого природного ландшафту, тому асфальтного та бетонного покриття проектом не передбачено. Натомість, буде виконано: доріжки з декінгу, які буде облаштовано безпосередньо біля річки Стир; гравійно-набивні доріжки, які передбачено виконати всередині парку (це покриття добре пропускає воду, тому проблем із дренажем не виникатиме); доріжки з металевої сітки передбачено облаштувати біля мосту на вул. Шевченка, де місцевість є болотистою, тому при підтопленнях буде можливість для прогулянок [4,5].

Окремий підхід – до облаштування місць для відпочинку, саме тому, проектом передбачено проведення облаштувати їх з того, що вже є у парку, а саме: з різних чагарників та інших зелених насаджень, які частково доведеться прибрати, але такі рішення дозволять подарувати для них нове життя – відвідувачі будуть відпочивати на лавці, яка саме там виросла.

Одним з найбільш важливих аспектів проведення робіт на території парку є облаштування її доступності та інклюзивності для різних категорій мешканців міста, тому вздовж усієї вулиці Набережної будуть облаштовано декілька пандусів. При проектуванні було враховано безпекову ситуацію, яка є викликом сьогодення, тому на вході заплановано укриття, яке також можна використовувати як багатофункціональний простір для проведення різних заходів [2,3,4,5].

Особливої уваги заслуговує розроблена система освітлення, яка забезпечує комфорт для відвідувачів і буде облаштована у теплих кольорах, що менше подразнюватиме очі.

Парк знаходиться в оточенні двох мостів, які мають в основі масивні бетонні опори, які передбачено використовувати як своєрідну арт-галерею під відкритим небом, що милуватиме око відвідувачів.

Досить часто територію парку мешканці використовують не тільки як місце для прогулянок, але й для занять спортом. Саме тому проектом

передбачено на території парку встановлення вбиральні з переодягальнями, де можна буде змінити одяг та займатися фізичними активностями [5,12].

Парк буде облаштовано вздовж р. Стир, тому проектом передбачено облаштування комфортних і доступних рибальських місць. Частина території залишиться недоторканою, щоб відвідувачі змогли максимально наблизитись до природного середовища.

Проектом передбачено облаштування інтерактивного простору для дітей з природних матеріалів.

Висновки

Проведений аналіз досліджень підтвердив, що розвиток ландшафтно-рекреаційних територій міста з урахуванням інтересів різних категорій мешканців та вікових категорій, а також з урахуванням інклюзивності є ключовим елементом у процесі становлення та формування стійкого перспективного розвитку міського середовища з урахуванням функціонального поділу території міста.

Отже, незалежно від загальної концепції розвитку території міста, ландшафтно-рекреаційні зони є невід'ємною частиною його перспективного розвитку. При розробці концепції парку необхідно передбачити відпочинкові майданчики для людей з обмеженими можливостями, виконувати відповідне мощення доріжок, розмітку, пандуси та поручні, забезпечувати освітлення території, з урахуванням існуючого рельєфу місцевості, наявних природних насаджень і водних ресурсів, що дозволить виконати проєкт із максимальним використанням потенціалу міської території.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1.Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2011). *DBN B.2.2-5:2011 Blaghoustirij terytorij* [Territory improvement].

2. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2019). *DBN B.2.2-12:2019 Planuvannya ta zabudova terytorij* [Planning and development of territories].
3. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2021). *DBN V.1.2-9:2021 Bezpeka i dostupnistj pid chas ekspluatatsiji* [Safety and accessibility during operation].
4. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2018). *DBN V.2.2-40:2018 Inkluzyvnistj budivelj i sporud. Osnovni polozhennja* [Inclusiveness of buildings and structures. Basic provisions].
5. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2021, June 30). *Pro zatverdzhennja Porjadku vlashtuvannja zasobiv bezpereshkodnogho dostupu osib z invalidnistju ta inshykh malomobilnykh hrup naselennja do budynkiv, budivelj, sporud budjakoho pryznachennja...*: Postanova № 668 [On approval of the procedure for arrangement of means of unimpeded access...]. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/668-2021-%D0%BF#Text>
6. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2021, May 26). *Pro zatverdzhennja Porjadku provedennja monitorynghu ta ocinky stupenja bezbar'jernosti ob'ektiv fizychnogho otochennja i poslugh dlja osib z invalidnistju*: Postanova № 537 [On approval of the monitoring procedure...]. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/537-2021-%D0%BF#Text>
7. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2021, August 31). *Pro zatverdzhennja Metodychnykh rekomendacij shhodo provedennja monitorynghu ta ocinky stupenja bezbar'jernosti ob'ektiv fizychnogho otochennja i poslugh dlja osib z invalidnistju*: *Nakaz № 217* [On approval of the methodological recommendations...].
8. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2021, April 14). *Pro skhvalennja Natsionalnoji strategiji iz stvorennja bezbar'jernogho prostoru v Ukraini na period do 2030 roku: Rozporjadzhennja № 366-r* [On approval of the National Strategy for creating a barrier-free space in Ukraine until 2030: Order No. 366-r]. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#Text>
9. Orhanizacija Ob'jednanykh Natsij. (n.d.). *Konvencija pro prava osib z invalidnistju* [Convention on the Rights of Persons with Disabilities]. [Electronic resource]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71#Text
10. Verkhovna Rada Ukrainy. (1991). *Pro osnovy socialjnoji zakhyshhenosti osib z invalidnistju v Ukraini: Zakon Ukrainy № 875-XII* [On the fundamentals of social protection of persons with disabilities in Ukraine: Law of Ukraine No. 875-XII]. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12#Text>
11. <https://lutsk.rayon.in.ua/news/55618-pokazali-iaak-zminitsia-park-900-richchia-lutska>
12. <https://konkurent.ua/publication/151486/pirs-navchalni-klasi-ta-amfiteatr-yakim-mozhe-buti-park-na-naberezhnyi-u-lutsku-za-50-mln-foto/>

Література

1. Міністерство розвитку громад та територій України. (2011). *ДБН Б.2.2-5:2011 Благоустрій територій*.
2. Міністерство розвитку громад та територій України. (2019). *ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій*.
3. Міністерство розвитку громад та територій України. (2021). *ДБН В.1.2-9:2021 Безпека і доступність під час експлуатації*.
4. Міністерство розвитку громад та територій України. (2018). *ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення*.

5. Кабінет Міністрів України. (2021, 30 червня). *Про затвердження Порядку влаштування засобів безперешкодного доступу осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення до будинків, будівель, споруд будь-якого призначення, їх комплексів та частин, об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури або їх розумного пристосування. Постанова № 668.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/668-2021-%D0%BF#Text>

6. Кабінет Міністрів України. (2021, 26 травня). *Про затвердження Порядку проведення моніторингу та оцінки ступеня безбар'єрності об'єктів фізичного оточення і послуг для осіб з інвалідністю. Постанова № 537.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/537-2021-%D0%BF#Text>

7. Міністерство розвитку громад та територій України. (2021, 31 серпня). *Про затвердження Методичних рекомендацій щодо проведення моніторингу та оцінки ступеня безбар'єрності об'єктів фізичного оточення і послуг для осіб з інвалідністю. Наказ № 217.*

8. Кабінет Міністрів України. (2021, 14 квітня). *Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року: Розпорядження № 366-р.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#Text>.

9. Організація Об'єднаних Націй. (n.d.). Конвенція про права осіб з інвалідністю. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71#Text

10. Верховна Рада України. (1991). *Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні: Закон України № 875-XII.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12#Text>

11. <https://lutsk.rayon.in.ua/news/55618-pokazali-ia-k-zminitsia-park-900-richchia-lutska>

12. <https://konkurent.ua/publication/151486/pirs-navchalni-klasi-ta-amfiteatr-yakim-mozhe-buti-park-na-naberezhniy-u-lutsku-za-50-mln-foto/>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Ichuk N.I. *

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7419-2661>
Department of Construction and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

Smal M.V.

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>
Department of Construction and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: ilchuknataliia@lutsk-ntu.com.ua

Reconstruction of landscape and recreational areas in city of Lutsk

Cite as:

Ilchuk, N.I., Smal, M.V. (2025). Reconstruction of landscape and recreational areas in city of Lutsk. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 24, 173-182. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)14)

© 2025, Ilchuk N.I., Smal M.V.

Abstract. This article presents an analysis of the development of landscape and recreational areas of the city of Lutsk, taking into account the existing natural environmental conditions, the requirements of regulatory documents, and the needs of the development of the city territory.

The authors analyzed the existing principles of inclusiveness of recreational areas in the urban context, which are enshrined in the Ukrainian regulatory framework for creating a barrier-free environment.

The study provides examples of the implementation of projects for the reconstruction and improvement of recreational areas in the city of Lutsk. An analysis of the modern approach to the reconstruction of landscape and recreational areas of the city is carried out, taking into account the needs of society and the challenges of today.

The development and implementation of landscaping and improvement projects takes into account the existing natural, climatic and relief features of the city of Lutsk and the region.

The principles of an inclusive approach when implementing conceptual developments of various types of recreational areas of the city are analyzed which allows us to identify universal solutions and a general concept for the development of various areas of the city, taking into account the natural and climatic conditions and features of the relief of the city, as well as taking into account the planning structure of the city, taking into account its development trends.

The authors also draw attention to today's challenges, including clear approaches, mandatory social impact analysis, and public discussion within the framework of implementing large-scale projects for the reconstruction of the city's territory to maximize their use for the needs of city residents.

The article considers modern principles and norms for the reconstruction of landscape and recreational zones of the city of Lutsk, which are used in the design and reconstruction of parks. The main problems are presented and the concept of further development of the city's recreational areas is highlighted.

Keywords: park, green spaces, landscaping, areas, territory, recreation, inclusivity, accessibility.

Лесик-Бондарук О.О. *

Кандидат архітектури, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-2101>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: O.Bondaruk@ukr.net

**До питання про принципи оцінки фортифікаційних споруд
України для виявлення можливостей їх ефективного
використання в сучасних умовах**

Цитувати як:

Лесик-Бондарук, О.О. (2025). До питання про принципи оцінки фортифікаційних споруд України для виявлення можливостей їх ефективного використання в сучасних умовах. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 183-195. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-15)

© 2025, Лесик-Бондарук О.О.

У цій статті проведено комплексний аналіз основних принципів оцінки фортифікаційних споруд, що знаходяться на території України, з метою виявлення максимальних можливостей їх використання у сучасному контексті розвитку суспільства.

Метою статті є визначення основних принципів для оцінки фортифікаційних споруд на теренах України для виявлення максимально ефективних можливостей їх використання в сучасних умовах.

Для наукового обґрунтування включення фортець в сучасне життя автор рекомендує враховувати наступні аспекти: історико-архітектурний, містобудівельний, ландшафтний, інженерно-технічний, композиційно-планувальний, аспект можливого використання в сучасних умовах та економічний. Автор розглядає вплив цих аспектів на можливості дослідження, реставрації та максимально ефективного використання пам'яток фортифікаційної архітектури в сучасних умовах. Автор при цьому поділяє оборонні пам'ятки на такі, що мають світове, загальнонаціональне та місцеве значення.

У статті зазначається вплив історико-архітектурного вирішення споруди на можливість ефективного її використання в сучасних умовах.

Автор звертає увагу на вплив містобудівельних характеристик замків та фортець на активність в сучасному використанні. В статті також аналізуються вимоги до локації та логістичних питань.

Адаптація до сучасних реалій та надання нових функцій фортифікаційній споруді залежить також від технічного та композиційно-планувального вирішення. В статті також аналізуються проблеми, які виникають в умовах сьогодення у проектних організаціях, що займаються дослідницькою діяльністю та реставраційно-ремонтними роботами.

Ключові слова: фортифікаційна споруда, історико-архітектурний комплекс, замок, фортеця, композиційно-планувальні характеристики, сучасне використання, реставрація.

Вступ

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми

Українські науково-дослідні інституції робили спроби знайти підхід до підвищення ефективності використання архітектурного надбання України для сучасних потреб. У XX столітті, допоки Україна була поневолена радянською імперією, процеси дослідження та використання фортифікаційних споруд мали специфічну історію, оскільки мусили бути співзвучними з комуністичною пропагандою.

Українські фахівці другої половини XX ст. зробили значний внесок у вивчення замків, монастирів-фортець, укріплених будівель та міст-фортець на теренах України. Серед українських архітекторів, що аналізували нашу фортифікаційну спадщину, слід виділити Петра Юрченко, який був одним із перших дослідників Кам'янець-Подільської фортеці після другої світової війни (1). Юрченко зробив науковий опис фортеці, заклавши основу для подальших архітектурних досліджень.

Григорій Логвин – історик архітектури, активний у 1950–1980-х. Працював в Інституті історії мистецтв АН УРСР. Автор численних нарисів про еволюцію фортифікаційної архітектури XIV–XVII ст., співредактор багатотомних видань з історії українського мистецтва та архітектури. Під керівництвом Логвина було підготовлено «Звід пам'яток архітектури Української РСР» (4-томник 1970-х рр.), де поряд із цивільною та храмовою архітектурою описано муровані укріплення низки українських міст (3,4,12).

Євгенія Пламеницька – архітектор-реставратор, активно працювала в 1950–1990-х роках XX століття. Працювала у Науково-дослідному інституті теорії та історії архітектури (Київ) та в проектних реставраційних установах («Укрпроектреставрація»). Вперше провела архітектурно-археологічні дослідження Кам'янець-Подільського Старого замку (1960-ті рр.), виявивши давньоруські муровані укріплення і довівши середньовічне походження фортеці. Співавтор історико-архітектурного нарису «Кам'янець-Подільський» (1968) та низки статей (усього 66 наукових публікацій), виконала 8 графічних реконструкцій фортифікацій. Її роботи заклали наукові основи реставрації оборонних споруд Поділля. (4)

Євгенія Лопушинська – архітектор-реставратор. Очолювала відділ в «Укрпроектреставрації» (Київ) та брала участь у ключових реставраційних проєктах, зокрема, керувала архітектурно-реставраційними роботами в Меджибізькій фортеці (Хмельниччина): з 1968 р. під її провідом досліджували та консервували п'ятикутну (Лицарську) вежу, зібрали детальну науково-проектну документацію. Результати науково-дослідницької праці частково опубліковано в 1990-х рр., зокрема у фаховому збірнику «Пам'ятки України» (№3–4, 1996) Лопушинська була провідним практиком-реставратором у проєкті музеєфікації Золотих воріт у Києві (1970-ті), де працювала в команді істориків і археологів над павільйоном для збереження брами (5).

Іон Винокур – археолог та історик, один із провідних дослідників Поділля: проводив масштабні археологічні дослідження укріплень Кам'янця-Подільського у 1960–70-х роках, зібрав значний археологічний матеріал про фортифікації міста.

Винокур ініціював створення Кам'янець-Подільського державного історико-архітектурного заповідника у 1977 році для охорони фортеці та старого міста. Одна з його ключових праць – брошура «Кам'янець-Подільський державний історико-архітектурний заповідник» (співавт. Г. Хотюн; Львів: Каменяр, 1981), що узагальнила історію та стан фортифікацій міста. Також відомі його публікації та дослідження з історичної топографії Поділля та матеріали про замки Подністрів'я (6).

Дослідженню фортифікаційної спадщини України присвятили свою наукову діяльність Юрій Нельговський, Михайло Рожко, Орест-Нестор Мацюк та інші (7,8).

Олександр Лесик – архітектор, історик архітектури, активний своєю дослідницькою діяльністю у 1980–2000-х роках. Відомий своєю книгою «Замки та монастирі України», однією з перших узагальнюючих праць часів незалежності України. О. Лесик систематизував інформацію про більше ніж 100 оборонних замків і фортифікованих монастирів різних регіонів України, проаналізував їх архітектурно-планувальні особливості та сучасний стан. Його дослідження підкреслюють важливість збереження як великих замків, так і менш відомих монастирів-фортець (9,11).

У 1945–2000 рр. було сформовано наукову школу дослідження українських фортифікаційних споруд. Дослідники-архітектори (Юрченко, Платонівська, Лопушинська, Лесик та ін.) заклали архітектурно-реставраційні засади збереження замків і фортець, а історики й археологи (Винокур, Трубочанінов, Рожко, Петров та ін.) розкрили історичний розвиток та типологію фортифікацій. Ці напрацювання, особливо здійснені в межах профільних інститутів (Інститут археології НАНУ, науково-дослідні інститути архітектури і пам'яток охоронні установи) та заповідників, стали науковою основою для подальшого збереження і популяризації замків України. Таким чином, у другій половині ХХ ст. українські науковці створили ґрунтовну базу знань про нерухомі фортифікаційні пам'ятки – від давньоруських городищ до пізніх замків і монастирів-фортець.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є визначення основних принципів оцінки фортифікаційних споруд на теренах України для виявлення ефективних можливостей їх використання в сучасних умовах.

Матеріали та методи

Важливою умовою оцінки замків та оборонних монастирів України для використання в сучасних умовах є виявлення загальних принципів, на основі яких можна провести всебічний аналіз при дослідженні нового змісту оборонних пам'яток архітектури та пристосування їх до сучасних реалій та викликів. Важливим завданням є максимально проаналізувати всі фактори, що впливають на збереження пам'яток та дозволяють ефективно використовувати їх в наш час.

Виявлення принципів оцінки фортифікаційних споруд України для розгляду можливостей їх пристосування в сучасних реаліях під різноманітні музеї, заклади відпочинку та туризму, культурно-мистецькі заклади, місця проведення різноманітних заходів освітнього, культурного, розважального, мистецького характеру проводились автором на основі комплексного вивчення українського досвіду реставрації та пристосування пам'яток, досвіду ряду західноєвропейських країн, а також вивчення наукових розробок і рекомендації по збереженню пам'яток історії та культури науково-дослідних інститутів, окремих вчених.

Для наукового обґрунтування включення фортець в сучасне життя автор рекомендує враховувати наступні аспекти:

- історико-архітектурний;
- містобудівельний;
- ландшафтний;
- інженерно-технічний;
- композиційно-планувальний;
- аспект можливого використання в сучасних умовах;
- економічний.

Результати та обговорення

Головною ознакою виявлення нового змісту в пам'ятці архітектури слід вважати її історико-архітектурну цінність. В загальноприйнятному розумінні всі пам'ятки архітектури – це наша історія та культура, охорона, дослідження та активне використання в сучасному житті яких є невід'ємними компонентами для розвитку українського суспільства. Слід зауважити, що в сучасних реаліях, коли український народ бореться за своє існування, особливо важливо зберігати історію України, її фортифікаційні споруди, як пам'ять про звитяги нашої нації.

Всі пам'ятки архітектури України, з врахуванням замків і фортець, з врахуванням їх історико-архітектурного значення діляться автором на:

- пам'ятки архітектури світового значення;
- пам'ятки національного значення;
- пам'ятки місцевого значення.

Практична сторона вирішення питання охорони історико-архітектурного надбання показала, що класифікація пам'яток, виходячи з їх історичної цінності, має досить важливе значення для їх дослідження, реставрації і пристосування для сучасних цілей (9, 11).

У наш час значна частина пам'яток фортифікаційної архітектури місцевого значення без проблем включені в сучасне життя. В багатьох випадках вони якісно реставровані і пристосовані під різноманітні музеї, кафе, ресторації, крамниці, арт-об'єкти, туристичні центри та ін. Це загальновідомі культурні та мистецькі місця і платформи, які користуються популярністю не лише в українських, а й у іноземних туристів. Науково-дослідна і реставраційна робота по їх збереженню і відновленню в більшості випадків проводиться на високому професійному рівні. Місцеві громади, на балансі яких найчастіше знаходяться такі пам'ятки, найбільше зацікавлені в тому, щоб максимально ефективно зберігати та використовувати їх.

Проблемними є питання включення в сучасне життя пам'яток національного та особливо міжнародного значення. Їх значна кількість та технічний стан ставлять перед науковцями – теоретиками і фахівцями-практиками безліч завдань. Найбільш складним завдання є виявлення правдивого історико-архітектурного вигляду пам'ятки. В процесі комплексного дослідження замку чи фортеці виявляється його стильова характеристика, роль і значення споруди в розвитку архітектурно-будівельних традицій, художніх смаків, історії та культури та ін.

Кожна старовинна споруда та архітектурно-будівельний комплекс під час свого історичного формування підлягав різноманітним перебудовам та реконструкціям. Більшість фортець у зв'язку з численними війнами, пожежами, змінами господарів та іншими історичними подіями видозмінювались та будувались заново.

Виявлення найбільш правдивого історичного вигляду пам'ятки є тим необхідним підґрунтям, що дозволить розробити нові функціональні процеси для даних архітектурних об'єктів. Хоча, на нашу думку, це не є вирішальною умовою для оптимального та максимально ефективного використання пам'ятки в умовах сьогодення. Такі дослідження особливо цікаві для збереження мистецької цінності споруди, для, можливо, розробки та втілення плану реставрації.

Незалежно від об'ємно-просторових рішень пам'яток, особливостей їх планувальних рішень, розташування, технічного стану, роботи по виявленню оптимального історико-архітектурного вигляду доцільно проводити з фундаментальними археологічними дослідженням об'єкту, вивченням літературних, архівних, рукописних матеріалів, виконанням 3D-моделювання, виконанням замальовок, фотофіксації, креслень, обмірів пам'ятки в натурі, проведення зондажів та ін.

Тільки комплексне врахування даних показників дозволить науково обґрунтовано виявити історично правдивий вигляд старовинних споруд. При цьому необхідно враховувати, що не може бути єдиної методики дослідження для всіх архітектурних пам'яток. Дані показники є лише методичною базою для кожної пам'ятки, тому що ступінь збереження об'єктів, можливість їх дослідження, наявність архівних джерел, модель використання фортець та замків України в сучасних реаліях в кожному індивідуальному випадку досить різноманітні.

Містобудівне розташування пам'яток архітектури відіграє важливу роль у формуванні архітектурного силуету населеного пункту, виділяє або ж навпаки, асимілює пам'ятку з довколишньою забудовою. На думку автора, «вигідне» містобудівне розташування фортифікаційної споруди (наприклад, як в історико-культурному заповіднику, що знаходиться в центрі міста Луцька) сприяє включенню пам'ятки в активне міське життя, надає більше можливостей для збереження старовинних споруд з новими функціями та вирішенню економічних питань громади населеного пункту, оскільки велика частка сподівань сучасного використання певної старовинної споруди має в собі компоненту економічної доцільності.

Пам'ятки архітектури, архітектурні ансамблі та комплекси, які розташовані в системі чи на околиці населених пунктів, розглядаються в першу чергу з позиції їх значення у формуванні силуету міської забудови, композиційних домінант, можливостей нового будівництва. Ці показники і виявляють характер нового функціонального призначення старовинної забудови.

Пам'ятки, які розташовані за межами населених пунктів, досліджуються з точки зору транспортної доступності, наявності в навколишньому середовищі живописних ландшафтів, наявності готельних комплексів, популярності туристичних локацій, розвиненої інфраструктури, різноманітних інших пам'яток історії і культури та ін.

У всіх трьох випадках приймаються до уваги питання охорони навколишнього середовища, наявності поблизу виробничих підприємств та ін.

Співставлення кількісних та якісних містобудівельних характеристик пам'яток дозволить виявити варіанти їх сучасного використання.

Практика використання пам'яток з новими функціями та призначенням показує, що організація невеликих або поодиноких музеїв в замських об'єктах не завжди є виправданою в зв'язку з тим, що ці музеї часто пустують. Хоча, виключення є, але лише у випадках, коли ці фортифікаційні комплекси мають

загальноукраїнське та міжнародне значення (наприклад, Хотинська фортеця). Найбільш характерні варіанти їх використання – це фортифікаційні пам'ятки в системі чи на околиці населеного пункту. Організація готелів, рекреаційних баз, баз відпочинку, ресторацій, локацій для проведення різноманітних культурних, освітніх та інших заходів виправдана в пам'ятках, які розташовані на околицях чи за межами населених міст. Кіноконцертні, виставкові зали, ресторації, мистецькі галереї, міні-виробництва (як от, наприклад, майстерні з пошиття взуття чи одягу, аптеки, пекарні тощо), заклади торгівлі, дизайнерські студії, фотостудії, танцювальні чи співочі студії – перелік може бути довгим – схильні до об'єктів, які розташовані в системі населених пунктів. Санаторії, будинки для літніх людей, відпочинкові комплекси найбільш доцільно розташовувати в заміських пам'ятках архітектури з живописним навколишнім ландшафтом та зручним транспортним доступом.

Питання охорони навколишнього середовища в системі населених пунктів та за їх межами стали в наш час однією з найбільш актуальних проблем. В багатьох регіонах України катастрофічна ситуація з екологією довколишнього середовища – із забрудненням повітря, річок, озер, знищенням земельних масивів та ін. (12).

На думку автора, одними з основних причин екологічних проблем можливо вважати наступні показники:

- відсутність науково-обґрунтованої програми концентрації промислових виробництв по регіонах країни;
- необґрунтоване розташування багатьох виробничих підприємств не в промислових зонах міст;
- відсутність очисних споруд на багатьох промислових підприємствах;
- відсутність закону про реалізацію генплану забудови;
- відсутність відділів ландшафтно́ї архітектури та недостатня кількість даних фахівців.

Якісна оцінка даних причин при виявленні нових функцій приміщень замків та фортець дозволить оптимально вирішувати нові можливості у використанні пам'яток архітектури в сучасних реаліях та охорону навколишнього ландшафту в цьому процесі.

В основі дослідження території довкола пам'ятки архітектури є наступні показники: оцінка території з точки зору зручності транспортного доїзду до об'єкту, медичної і санітарно-гігієнічної оцінки природних факторів з точки зору впливу їх на людський організм, характеристики природних ландшафтів з виявленням їх естетичних якостей та можливих напрямлень трансформації.

Такі обмеження території дозволять не тільки пристосувати пам'ятки з умовами максимального збереження навколишнього середовища, але й використовувати її багатства та різноманітність для організації місць масового відпочинку населення.

Медичні та санітарно-гігієнічні умови території проявляються як за природними факторами – присутність водних просторів, характером рельєфу і різноманітність ландшафту, так і за штучними, які пов'язані з наявністю поблизу викидів диму в атмосферу, шумів тощо.

Ділянка навколо замку чи фортеці, яка пристосовується для сучасних цілей, повинна відповідати ряду функцій:

- Місце повинно бути сухим, з добрими умовами провітрювання. Негативними показниками ділянки слід вважати заболоченість чи висихання водойм. В усіх випадках варто перевірити можливості покращення

мікрокліматичних умов засобами інженерної підготовки – дренавань, виправлення русла водойми чи річок, ліквідації чи навпаки заглиблення водних просторів і т. д.

- Територія повинна добре інсолюватись. Якщо ділянка має перепади рельєфу в сторону найбільш сприятливої орієнтації, то створюються умови найбільш ефективного його освітлення. Орієнтування території ділянки на північ недопустима за різкого погіршення умов його інсоляції, особливо в осінньо-зимовий період. При оцінці ділянки в гірських долинах враховуються умови їх освітленості в зв'язку з тим, що оточуючи долину, гори часто «скорочують» сонячний день, особливо в зимові місяці.

- Ділянка повинна також бути віддалена від забруднення і розташовуватись з невітрянної сторони по відношенню до осередків забруднення. Важливо також віддалення і захист ділянки від шуму і забрудненості газами повітря автомагістралей. Відстань ділянки до промислових районів повинна бути не меншою, ніж передбачають санітарні норми проєктування промислових підприємств.

- Місце повинно мати хороший транспортний доїзд, що значно вплине на відвідуваність, а, отже, підвищить позитивну економічну складову та покращить відвідуваність пам'ятки.

На жаль, не завжди ми можемо впливати на виконання цих рекомендацій – оскільки фортифікаційна та, припустимо, промислова споруда можуть бути вже збудовані, ніхто не буде їх переносити в інше місце. Але як рекомендації перелічені фактори, на думку автора, є важливими.

Процес зміни природних ландшафтів в наш час проходить значно більш активно ніж раніше в силу сильного забруднення навколишнього середовища шкідливими домішками, швидким розвитком транспорту та ін.

Технічні характеристики пам'ятки фортифікаційної архітектури вважаються найважливішим критерієм у визначенні нових функцій споруди. Фізичний стан об'єкту є вихідною точкою для початку робіт з реставрації, консервації чи відновлення пам'ятки. Конкретний об'єм робіт складається на основі вивчення історико-архітектурної цінності споруди чи комплексу за його технічним станом.

Задовільний технічний стан архітектурних пам'яток при визначенні нових функцій обов'язково передбачає реставрацію споруд.

Фортифікаційні пам'ятки, технічний стан яких включає комплекс споруд, частина з яких добре збереглися, а деякі зруйновані чи частково зруйновані, включаються в сучасне життя кількома шляхами:

- всі споруди архітектурного комплексу реставруються та відновлюються;
- реставруються споруди, які добре збереглися, а руїни – консервуються.

Пам'ятки, технічний стан яких незадовільний, в більшості випадків залишаються відкритими для відвідувачів, в частині з них проводяться консерваційні роботи. Трапляються одині випадки відновлення пам'яток архітектури за допомогою макетування. Це стосується споруд, історико-архітектурна цінність яких має важливе значення у вирішенні наукових та естетичних проблем. Існування добре виконаних макетів сприяє не тільки розвитку архітектурно-будівельної науки, але і збагаченню практики реставраційних робіт (12).

Врахування особливостей об'ємно-просторового взаємозв'язку окремих споруд в замках і фортецях, в замкових комплексах дозволяє більш креативно вирішувати питання нового функціонального призначення пам'ятки архітектури.

Централізовані, компактні композиції замків і фортець дозволяють організувати функціональний зв'язок між елементами споруди або комплексу в межах нового призначення більш ефективно, взаємопов'язано та нерозривно.

Блоквані композиції пам'яток вирішують питання функціонального взаємозв'язку технологічних операцій більш просторово, глибинно. В їх вирішенні приймає участь також рельєф і ландшафт.

Ще більш відкрито, з просторовим сприйняттям довколишньої забудови, природного ландшафту відбувається оновлення функціонального призначення пам'ятки при павільйонній композиції замків. Якщо така споруда знаходиться в активній міській забудові, то її можна використати як чудовий готельно-ресторанний комплекс, місце проведення культурних та мистецьких заходів тощо.

Критерії особливостей композиційно-планувальних рішень замків і фортець мають основне значення для розташування функціональних груп приміщень нового призначення. Як відомо, будь-який функціональний процес має схильність до певних структур, які сформувались в процесі довготривалого існування різноманітних будинків і споруд. Попри те, що доволі у багатьох випадках у комплексах фортифікаційних споруд на теренах України часто розташовуються нові різноманітні за своїми функціями об'єкти, що з'явилися у попередні епохи, на думку автора, сучасні включення новітніх елементів необхідно проводити з умовами максимального збереження історико-архітектурного вигляду в інтер'єрах та екстер'єрах споруд. Це сприятиме збереженню особливості пам'ятки та підкреслить її важливість при нових варіантах застосування.

Збереження об'ємно-планувальних рішень пам'яток і створення належних умов перебування людей в будинках і спорудах необхідно проводити у взаємозв'язаних умовах пристосування пам'яток історії і культури для сучасних цілей.

На жаль, на практиці часто досить важко розмістити на основі сучасних нормативних вимог нові об'єкти в об'ємно-планувальних рішеннях пам'яток архітектури.

З однієї сторони проєктувальники, пристосовуючи пам'ятки для сучасних потреб, отримують широке поле для творчої діяльності. З іншої – змушені шукати компромісні варіанти між існуючими об'ємно-планувальними структурами пам'яток і сучасною нормативною базою проєктування будинків і споруд.

Критерій характеру сучасного використання замків і фортець головний при оцінці фізичного та естетичного стану пам'яток архітектури.

Пам'ятки архітектури, які раціонально включені в сучасне життя, в більшості прикладів реставруються, забезпечується їх фізичне збереження, пам'ятки активно використовуються в житті певної громади, є відвідуваними локаціями, проведені роботи по збереженню навколишнього ландшафту. Для прикладу можна використати «активне сучасне життя» Луцького замку, Аккерманської фортеці, Кам'янець-Подільської фортеці, замку в Хотині, Олесько, Золочеві, Меджибожі тощо.

Багаточисельні пам'ятки, використання яких не відповідає умовам їх збереження, як правило, не реставруються, знаходяться в занедбанні. Вони «старіють» фізично та морально. В даних прикладах, як правило, не вирішується питання охорони навколишнього середовища. Тут згадуємо про Підгорецький замок, фортецю у Кременці, в Сутківцях, Тербовлянський замок, Пнівський замок тощо.

Багато пам'яток пристосовані для сучасних потреб з умовами збереження фасадів, інтер'єрів споруд, а ознайомлення з ними туристів обмежено, чи просто неможливе. В даних випадках моральне збереження архітектурних споруд не здійснюється. Проблемними стають також питання відновлення навколишніх ландшафтів.

Значна кількість пам'яток архітектури, які знаходяться в руїнах, не включені в туристичні маршрути. (15) На щастя, останні роки в Україні активно популяризуються історія та історія архітектури зокрема, з'являється багато проєктів, що мають на меті ознайомлення з такими фортецями. Автор сподівається, що реклама та ознайомлення широкого загалу з занедбаними фортифікаційними спорудами дасть їм шанс на друге життя.

Критерії економічної доцільності пристосування пам'яток архітектури для сучасних потреб є важливим та необхідним показником.

На жаль, в нашій країні відсутні науково обґрунтовані розробки з економічної доцільності пристосування архітектурних пам'яток. В зв'язку з цим досить часто замовники відмовляються орендувати і реставрувати пам'ятки, мотивуючи це економічною недоцільністю. Наприклад, у приватній власності в Україні є лише один замок – Микулинецький в смт. Микулинці Тернопільської області. Проблеми з законодавством не дозволяють проводити там серйозні дослідницькі та реставраційні роботи, що призводить до руйнації пам'ятки (16).

В Україні має місце пряма заборона на приватизацію визначених об'єктів культурної спадщини, в першу чергу найцінніших пам'яток національного значення. (17) Пам'ятки з цього переліку не відчужуються з державної власності або власності громад ні за яких умов. На думку автора, це питання потрібно врегулювати в обов'язковому порядку, оскільки така заборона, на жаль, часто призводить до прямого знищення пам'яток.

Досвід реставрації та пристосування багаточисельних пам'яток, зокрема замків і фортець, показує економічну доцільність включення архітектурного надбання в сучасне життя. При цьому програма художньо-естетичного виховання нашого суспільства, підвищення культурного рівня розвитку людей не повинна бути співрозмірною із затратами на реставрацію та відновлення пам'яток історії та культури.

Комплексне врахування даних критеріїв при визначенні нових функцій пам'яток, співставлення можливих варіантів дозволить оптимально вирішувати питання фізичної та моральної збереженості історико-архітектурного середовища українських міст.

Вирішення проблеми збереження пам'яток історії залежить також від якості проектно-кошторисної документації, реставраційно-відновлювальних робіт, від характеру експлуатації та відвідування старовинних об'єктів з новими функціями. Кожен із цих показників має важливе значення у відтворенні правдивого історико-архітектурного вигляду пам'ятки архітектури, її збереження в процесі експлуатації з новим змістом.

Висновки

Україна є сучасною європейською державою з багатою архітектурною та історичною спадщиною. Збереження, реставрація та пристосування до сучасних умов фортифікаційних споруд є важливим питанням на шляху до збереження нашого культурного та історичного надбання, відновлення історичного потенціалу,

національного та патріотичного виховання, розвитку естетичної складової сучасного життя української нації, підвищення економічного потенціалу населених пунктів. Питання збереження архітектурної спадщини багатогранне та має багато складових. В статті автор виділяє та аналізує на його думку основні принципи, що сприятимуть ефективному використанню пам'яток фортифікаційної архітектури в сучасних реаліях.

Конфлікти інтересів

Автор заявляє, що у нього немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що при створенні поточної роботи він не використовував технології штучного інтелекту.

References

1. Lebediev, H. (1996) Doslidnyk narodnoi arkhitektury Petro Yurchenko. Narodna tvorchist ta etnohrafii, (4), 69-74.
2. Lohvyn, H.N. (1968) Po Ukraini. Starodavni mystetski pamiatky. Kyiv: Mystetstvo.
3. Lohvyn, H.N. (1954) Chyhyryn. Subotiv: Arkhitekturno-istorychni narys. Kyiv: Vyd-vo Akademii arkhitektury URSR.
4. Plamenytska Yevheniia Mykhailivna. (2005, 5 chervnia). V Wikipedia. Zvertannia 16, 2025, z https://uk.wikipedia.org/wiki/Plamenytska_Yevheniia_Mykhailivna
5. Lopushynska Yevheniia Ivanivna. (2024, November 30). V Wikipedia. Zvertannia 16, 2025, z https://uk.wikipedia.org/wiki/Lopushynska_Yevheniia_Ivanivna
6. Vynokur Ion Srulovych. (2024, October 2). V Wikipedia. Zvertannia 16, 2025, z https://uk.wikipedia.org/wiki/Vynokur_Ion_Srulovych
7. Nelhovskiy Yuriy Panasovych. (2022, April 28). V Wikipedia. Zvertannia 16, 2025, z https://uk.wikipedia.org/wiki/Nelhovskiy_Yuriy_Panasovych
8. Rozhko Mykhailo Fedorovych. (2025, March 31). V Wikipedia. Zvertannia 16, 2025, z https://uk.wikipedia.org/wiki/Rozhko_Mykhailo_Fedorovych
9. Lesyk O.V. (1992) Zamky i monastyri Ukrainy. Lviv: Svit.
10. Lohvyn H. N. (1986) Po Ukraini. Kyiv: Mystetstvo.
11. Lesyk O. V. Ekonomichna rentabelnist restavratsii, prystosuvannia ta ekspluatatsii fortyfikatsiinykh kompleksiv Volyni pid zaklady turyzmu ta vidpochynku. ASV, (1), 140-142.

12. Prybieha L. V. (2009) Okhorona ta restavratsiia ob'ektiv arkhitekturno-mistobudivnoi spadshchyny Ukrainy: metodolohichniy aspekt. Kyiv: Mystetstvo.
13. Chen, L.Ia (2014) Osnovy naukovykh doslidzhen u restavratsii pamiatok arkhitektury : navch. posib. dlia studentiv arkhitektur. ta mystets. spets. VNZ. Lviv : Vyd-vo Lviv. Politekhniky.
14. Dzendeliuk, L.S., Loda, L.M. (2012) Osnovy restavratsiinykh protsesiv. Peredrestavratsiini doslidzhennia: metod. porady do prakt. Zaniat. Lviv: UAD.
15. Problemy doslidzhennia, zberezhenia ta restavratsii istorychnykh fortyfikatsii = Current issues in research, conservation and restoration of historical fortifications: materialy mizhnar. konf. molodykh naukovtsiv, 2–4 cherv. 2011 r., Lviv–Tustan / za red. M. Bevza, B. Cherkesa, A. Mandziia. – Lviv: Vyd-vo Lviv. politekhniky, 2012. – 170 s. (Proceedings of the international conference of young scientists, June 2–4, 2011, Lviv–Tustan.)
16. Mykulynetskyi zamok. (2025, April 6). V Wikipedia. Zvertannia 16, 2025, z https://uk.wikipedia.org/wiki/Mykulynetskyi_zamok
17. Perelik pamiatok kulturnoi spadshchyny, shcho ne pidliahaiut pryvatyzatsii. (2023, October 28). V Wikipedia. Zvertannia 16, 2025, z [https://uk.wikipedia.org/wiki/Perelik_pamiatok_kulturnoi_spadshchyny, shcho ne pidliahaiut pryvatyzatsii](https://uk.wikipedia.org/wiki/Perelik_pamiatok_kulturnoi_spadshchyny_shcho_ne_pidliahaiut_pryvatyzatsii)

Література

1. Лебедєв, Г. (1996) Дослідник народної архітектури Петро Юрченко. Народна творчість та етнографія, (4), 69-74.
2. Логвин, Г.Н. (1968) По Україні. Стародавні мистецькі пам'ятки. Київ: Мистецтво.
3. Логвин, Г.Н. (1954) Чигирин. Суботів: Архітектурно-історичний нарис. Київ: Вид-во Академії архітектури УРСР.
4. Пламеницька Євгенія Михайлівна. (2005, 5 червня). В Wikipedia. Звертання 16, 2025, з https://uk.wikipedia.org/wiki/Пламеницька_Євгенія_Михайлівна
5. Лопушинська Євгенія Іванівна. (2024, November 30). В Wikipedia. Звертання 16, 2025, з https://uk.wikipedia.org/wiki/Лопушинська_Євгенія_Іванівна
6. Винокур Іон Срульович. (2024, October 2). В Wikipedia. Звертання 16, 2025, з https://uk.wikipedia.org/wiki/Винокур_Іон_Срульович
7. Нельговський Юрій Панасович. (2022, April 28). В Wikipedia. Звертання 16, 2025, з https://uk.wikipedia.org/wiki/Нельговський_Юрій_Панасович
8. Рожко Михайло Федорович. (2025, March 31). В Wikipedia. Звертання 16, 2025, з https://uk.wikipedia.org/wiki/Рожко_Михайло_Федорович
9. Лесик О.В. (1992) Замки і монастирі України. Львів: Світ.
10. Логвин Г. Н. (1986) По Україні. Київ: Мистецтво.

11. Лесик О. В. Економічна рентабельність реставрації, пристосування та експлуатації фортифікаційних комплексів Волині під заклади туризму та відпочинку. АСВ, (1), 140-142.
12. Прибега Л. В. (2009) Охорона та реставрація об'єктів архітектурно-містобудівної спадщини України: методологічний аспект. Київ: Мистецтво.
13. Чень, Л.Я (2014) Основи наукових досліджень у реставрації пам'яток архітектури : навч. посіб. для студентів архітектур. та мистец. спец. ВНЗ. Львів : Вид-во Львів. Політехніки.
14. Дзендзелюк, Л.С., Льода, Л.М. (2012) Основи реставраційних процесів. Передреставраційні дослідження: метод. поради до практ. Занять. Львів: УАД.
15. Проблеми дослідження, збереження та реставрації історичних фортифікацій = Current issues in research, conservation and restoration of historical fortifications: матеріали міжнар. конф. молодих науковців, 2–4 черв. 2011 р., Львів–Тустань / за ред. М. Бевза, Б. Черкеса, А. Мандзія. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2012. – 170 с. (Proceedings of the international conference of young scientists, June 2–4, 2011, Lviv–Tustan.)
16. Микулинецький замок. (2025, April 6). В Wikipedia. Звертання 16, 2025, з [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Микулинецький_замок](https://uk.wikipedia.org/wiki/Микулинецький_замок)
17. Перелік пам'яток культурної спадщини, що не підлягають приватизації. (2023, October 28). В Wikipedia. Звертання 16, 2025, з [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Перелік пам'яток культурної спадщини, що не підлягають приватизації.](https://uk.wikipedia.org/wiki/Перелік_пам'яток_культурної_спадщини,_що_не_підлягають_приватизації)

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 16.11.2025	Received 16.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Lesyk-Bondaruk O.O. *

Candidate of Architecture, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-2101>

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: O_Bondaruk@ukr.net

On the question of the principles of assessing the fortification structures of Ukraine to identify the possibilities of their effective use in modern conditions

Cite as:

Lesyk-Bondaruk O.O. (2025). On the question of the principles of assessing the fortification structures of Ukraine to identify the possibilities of their effective use in modern conditions. Modern

technologies and calculation methods in construction, 24, 183-195. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-15)

© 2025, Lesyk-Bondaruk O.O.

Abstract. In this article, the author conducts a comprehensive analysis of the basic principles of assessing fortification structures located on the territory of Ukraine in order to identify the maximum possibilities of their use in the modern context of social development.

The purpose of the article is to determine the basic principles for assessing fortification structures on the territory of Ukraine in order to identify the most effective possibilities of their use in modern conditions.

For scientific justification of the inclusion of fortresses in modern life, the author recommends taking into account the following aspects: historical and architectural, urban planning, landscape, engineering and technical, compositional and planning, the aspect of possible use in modern conditions and economic. The author considers the impact of these aspects on the possibilities of research, restoration and the most effective use of monuments of fortification architecture in modern conditions. The author divides defensive monuments into those that have global, national and local significance.

The article notes the impact of the historical and architectural solution of the structure on the possibility of its effective use in modern conditions.

The author draws attention to the influence of urban planning characteristics of castles and fortresses on activity in modern use. The article also analyzes the requirements for location and logistical issues.

Adaptation to modern realities and providing new functions to a fortification structure also depends on the technical and compositional and planning solution. The article also analyzes the problems that arise in the current conditions of design organizations engaged in research activities and restoration and repair works.

Keywords: fortification structure, historical and architectural complex, castle, fortress, compositional and planning characteristics, modern use, restoration.

УДК 624.012:693.5

А.В. Мазурак*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7367-774X>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

Т.Ю. Осадчук

к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8686-7056>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

Т.А. Мазурак

к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8789-3224>

Кафедра технології та організації будівництва

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

О.Т. Мазурак

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7846-2799>

Кафедра екології та захисту довкілля

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

Н.Б. Давидовський

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5138-889X>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

*автор - кореспондент, e-mail: amazurak@ukr.net

Підсилення залізобетонного перекриття армованим торкретбетоном

Цитувати як:

Мазурак, А.В., Осадчук, Т.Ю., Мазурак, Т.А., Мазурак, О.Т., Давидовський, Н.Б. (2025). Підсилення залізобетонного перекриття армованим торкретбетоном. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 196-206. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-16)

© 2025, Мазурак А.В., Осадчук Т.Ю., Мазурак Т.А., Мазурак О.Т., Давидовський Н.Б.

Сьогодні існує велика потреба у відновленні, ремонті та зміцненні бетонних та залізобетонних конструкцій. Спільна робота існуючого залізобетону конструкції та нового шару залізобетону має вирішальне значення для несучої здатності при підсиленні чи ремонті будівельних конструкцій. Досвід виконання ремонтних робіт та підсилення залізобетонних конструкцій доводить, що технологія торкретування є одним з ефективних та надійних методів нанесення захисних покриттів на бетонні поверхні, виправлення дефектів бетону та зміцнення бетонних і залізобетонних конструкцій.

Метою роботи було експериментально оцінити міцність зчеплення «старого» бетону перекриття та «нового» армованого торкретбетону та порівняти параметри зчеплення з розрахунковими значеннями. Визначити фактори, що впливають на величину зчеплення, підсилення монолітного перекриття армованим торкретуванням.

Згідно з розрахунком, пошкоджена залізобетонна плита перекриття була армована сіткою №10 А500С з кроком 200х200 мм та торкрет-бетоном за технологією сухого нанесення суміші «Кімтек».

Міцність на розтяг та адгезійна міцність торкрет-бетону, нанесеного на плиту, оцінювалися за допомогою адгезиметра, а також були виготовлені контрольні кубики з нанесеним шаром торкрет-бетону, які досліджувалися в лабораторних умовах.

Проведені експериментальні дослідження показали, що міцність зчеплення бетонного шару плити перекриття та торкрет-бетону в 2, 3 рази нижча за проектні розрахункові значення. Тому виникла потреба визначити технологічні фактори в реальних виробничих умовах, що впливають на величину зчеплення при підсиленні монолітного перекриття армованим торкрет-бетоном і врахувати ці фактори в процесі виконання робіт.

Ключові слова: армування залізобетонних конструкцій, міцність зчеплення, армований торкрет-бетон, несуча здатність.

Вступ

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. На сьогодні в будівництві часто виникає потреба відновлювати, ремонтувати, підсилювати бетонні й залізобетонні конструкції, а це у свою чергу потребує забезпечення міцного з'єднання різних за характеристиками шарів бетону.

Необхідність підсилення будівельних конструкцій в процесі експлуатації виникає не тільки під час реконструкції, але й внаслідок їх передчасного зносу в результаті непередбачених змін технології виробництва, різноманітних пошкоджень тощо. Підсилення залізобетонних конструкцій проводили ще на початку 20 століття і виконували в основному з використанням металевих елементів, армованих шарів бетону, тонких шарів розчину з використанням металевої стружки і торкретування [1, 2, 3].

Спільна робота між наявним бетоном конструкції та новим бетоном чи залізобетоном є критично важливою для несучої здатності при підсиленні та ремонті бетонних і залізобетонних конструкцій. Практика використання та експериментальні дослідження показують, що спільна робота є одним із основним критеріїв несучої здатності за підсилення, ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій.

Дослідження опору зсуву чи відриву контактних швів є важливою проблемою в будівельній справі. Хоча було проведено чимало експериментальних і теоретичних досліджень у цій області, все ще існує потреба в більш надійних і фізично обґрунтованих методах розрахунку

міцності контактних швів під дією відривних чи зсувних зусиль. Спільна робота шарів підсиленого залізобетонного елемента досягається за рахунок механічного зачеплення, улаштуванням насічки та/або за рахунок встановлення додаткової поперечної арматури. Для підвищення зчеплення “старого” та “нового” бетонів можуть застосовуватися також композиції на основі епоксидного, акрилового та інших видів синтетичних клеїв [2, 4].

Вивченню роботи підсилених залізобетонних конструкцій присвятили свої дослідження А.Я. Барашиков, З.Я. Бліхарський, Б.А. Боярчук, О.І. Валовой, Г.В. Гетун, О.Б. Голишев, О.Ю. Єрьоменко, О.Д. Журавський, Л.А. Мурашко, Д.В. Попруга, О.Л. Шагін, В.С. Шмуклер, Г.В. Чанг, Л.М. Ли, М.А. Максур і багато інших. Вплив механічного зчеплення “старого” та “нового” бетонів на міцність їхнього контакту присвятили свої роботи такі дослідники, як О.М. Пшінько, Н.І. Руденко, О.О. Шишкін та інші [4, 5, 6, 7, 8].

Науковці О.І. Валовой та П.І. Герб здійснили дослідження контактного шва при підсиленні залізобетонних конструкцій методом приклеювання. В якості дослідних зразків вони використовували залізобетонні балки, які підсилювали шляхом збільшення поперечного перерізу. Зокрема, підсилення виконувалося методом нашарування додаткового шару бетону в розтягнутій зоні [2].

Досвід виконання ремонтних робіт і підсилення залізобетонних конструкцій доводить, що технологія торкретування є однією із ефективних надійних способів нанесення захисних покриттів на бетонні поверхні, виправленні дефектів в бетоні, підсиленні бетонних і залізобетонних конструкцій.

Дослідження Національного інституту безпеки та гігієни праці США (NIOSH) у сфері використання торкретбетону як підтримки у підземних шахтах, розташованих у слабких гірських породах, є важливим для забезпечення безпеки гірничих робіт. Основною метою цих досліджень було створення надійної методології вимірювання адгезійної міцності торкретбетону, що є ключовим параметром його ефективності [6].

Мета і завдання дослідження. Враховуючи власний досвід виконання ремонту бетонних поверхонь і підсилення залізобетонних конструкцій технологією торкретування та на підставі аналітичного огляду літератури, проведена оцінка характеристик міцності зчеплення при підсиленні залізобетонного перекриття армованим торкретбетоном.

Метою роботи було експериментально оцінити міцність зчеплення “старого” бетону та “нового” торкретбетону при підсиленні перекриття та порівняти параметри зчеплення із розрахунковими величинами. Виявити чинники, які впливають на величину зчеплення в реальних виробничих умовах підсилення монолітного перекриття армованим торкретбетоном.

Результати та обговорення

Тривала експлуатація залізобетонного монолітного перекриття у знакоперемінних температурно-вологих умовах приміщення міської бані, призвела до появи тріщин на поверхні бетону, корозії арматури, випучування бетону та появи раковин на поверхні плити. Зменшення перерізу робочої арматури, поява деформацій у плиті суттєво знизили несучу здатність перекриття.

Пониження несучої здатності перекриття, пошкодження розтягнутої зони плити зумовили процес заміни перекриття або його підсилення. Збільшення несучої здатності конструкції без зміни конструктивної схеми передбачає збільшення її поперечного перерізу.

Процес виконання робіт із підсилення перекриття проводили за наступним алгоритмом: провели технічну оцінку стану перекриття, оцінили геометричні та міцнісні характеристики бетону та арматури монолітної плити; провели розрахунок із підсилення залізобетонного перекриття; провели очистку від корозії і збивання пошкодженого бетону; на хімічних анкерах (HILTI HIT-RE 500) зафіксували арматурні стержні, до яких прикріпили арматурну сітку; на підготовлену поверхню, пошарово в технології сухого виконання, нанесли ремонтну суміш торкретбетону.

Міцність бетону плити перекриття визначили після очистки і збиття пошкоджених ділянок неруйнівним методом (молоток Шмідта). Міцність ремонтного шару (55 замірів) становила C20/25 ($f_{cm, cube}=31,7$ МПа). Після оцінки міцності бетону перекриття підібрали за складом і виготовили однією партією 22 кубі аналогічного складу за міцністю з плитою. Вісім кубів із рівною шорсткою поверхнею, як перекриття, та 8 кубів із фрезерованою шорсткою поверхнею.

Пошкоджена залізобетонна плита перекриття будівлі Центру здоров'я «Бадьорість» КНП ЛТМО (клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги за адресою: м. Львів, вул. Героїв УПА, 35) за розрахунком підсилювалась армованим (сітка $\phi 10$ A500C, крок 200x200) торкретбетоном технологією сухого нанесення суміші «Кімтек» (згідно з ТУ У В.2.7 – 23.6 – 33053934-002:2022). З метою забезпечення спільної роботи бетону плити та ремонтного армованого шару торкретбетону і для сприйняття проектного навантаження розрахунком передбачили міцність зчеплення 1,5 МПа. При розрахунку та виконанні робіт зосередились на забезпеченні спільної роботи матриці та шару армованого торкретбетону, що допоможе досягти належної несучої здатності підсиленого перекриття [1, 2, 5].

Для забезпечення якісного виконання робіт із підсилення залізобетонного монолітного перекриття провели належну очистку випученого бетону та арматури від корозії. Додаткове ремонтне армування перекриття виконували сітками $\phi 10$ A500C з кроком 200x200мм, підвишуючи їх на анкерах, влаштованих з кроком 600 мм $\phi 8$ A500C (рис. 1).

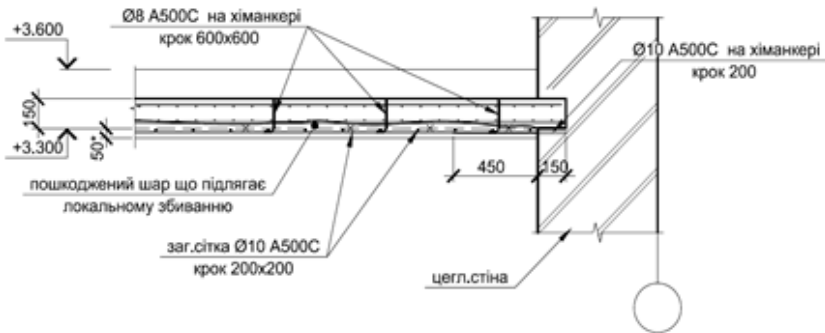


Рис. 1. Пристінний розріз армування підсиленої плити перекриття

Виконуючи пошарове нанесення торкрету в обсязі до 15 % від всього перекриття (рис. 2), в приміщені паралельно наносили торкрет на підготовлені куби-зразки з конічними кільцями (рис. 3) [7].

Процес дослідження міцності ремонтної поверхі на стиск та розтяг проведений у 25 день після нанесення шарів торкретбетону. Оцінку міцності на стиск провели неруйнівним методом (молоток Шмідта). Міцність ремонтного шару (результат 75 замірів) становила C25/30 ($f_{cm, cube} = 38$ МПа). Міцність на розтяг та адгезійна міцність оцінювалась адгезиметром Hilti 5006 (model 59604). Відповідно до результатів 12 замірів міцність ремонтного шару на розтяг / адгезійна міцність становила $f_{ctk, 0,05} = 0,65$ МПа (табл. 1, рис. 4, рис. 5). Руйнування взірців на відривання від перекриття проходило як на межі контакту матриці і ремонтної суміші, так і в масиві шару ремонтної поверхні (рис. 6, рис. 7). Зразки кубів (16 шт.) із конусними кільцями, заповнені торкретом, передавали в науково-дослідну лабораторію університету. Кільця при допомозі обойми відривали від поверхні кубів, тим самим оцінювали міцність зчеплення торкретбетону (табл. 1, рис. 8., рис. 9).

Провівши аналіз результатів міцності зчеплення ремонтних шарів, поданих в табл. 1, можна стверджувати, що міцність зчеплення шару бетону плити перекриття і торкретбетону (0,65 МПа) у 2,3 рази менша за проектні розрахункові значення та не відповідає декларованим характеристикам суміші «Кімтек»: міцність на стиск – не менше 45 МПа; міцність на розтяг / адгезія до поверхні – не менше 1,5 МПа. При цьому міцність зчеплення контрольних зразків кубів із конусними кільцями, виконаними по поверхні шорсткій і шорстко-фрезерованій, показують позитивний результат, тобто величина їх значень сягає 1,55 МПа та 1,51 МПа, відповідно. Також слід відзначити, що всі зразки, за виключенням одного, зруйнувались по межі контакту шарів бетону.

Таблиця 1. Міцність зчеплення дослідних зразків

№ зразка	Міцність бетону (матриці) МПа	Міцність ремонтного бетону МПа	Міцність зчеплення, МПа. Поверхня контакту						Межа руйнування взірців: 1- між бетоном і торкрет-бетоном 2- в шарі торкрет-бетону
			Плита перекриття		Зразки-куби				
	$f_{c,cube}$	$f_{c,cube}$	шорстка, прорізи і раковини		шорстка		шорстка, фрезерован		
1	29,7	38	0,95	0,65	--		--		1
2			0,37						2
3			0,46						2
4			0,40						2
5			1,06						1
6			0,38						2
7			0,77						2
8			1,41						1
9			0,35						2
10			0,31						2
11			1,08						1
12			0,26						2
1	31,2	38,1	--		1,77	1.55	1,60	1,51	1
2					1,38		1,81		1
3					1,78		1,77		1
4					1,35		1,35		1
5					0,95		1,55		1
6					1,55		1,47		1
7					1,79		0,92		1, 2
8					1,83		1,61		1



Рис. 2. Загальний вигляд поверхні при нанесенні шару торкретбетону



Рис. 3. Зразок куба із торкретбетonom на фрезерованій поверхні



Рис. 4. Підготовлений зразок для оцінки адгезійної міцності торкретбетону



Рис. 5. Шурф після відривання від масиву поверхні



Рис. 6. Дослідні зразки із шарів торкрет бетону перекриття



Рис. 7. Покази адгезиметра



Рис. 8. Зразок шорсткої поверхні торкретбетону в обоймі



Рис. 9. Зовнішній вигляд, після розриву поверхні шорсткого бетону і торкретбетону

Роботи із підсилення перекриття зупинили, щоб виявити технологічні чинники невідповідності належного зчеплення шарів бетону і торкретбетону. Так як контрольні зразки виконувались з однієї відстані під належним кутом нанесення, одним шаром та однорідною струєю і подачею води (в сухій технології виконання це дуже важливо), результат міцності зчеплення отримали добрий. Зразки в перекритті в основному зруйнувались в масиві торкретбетону, тобто його міцність по товщині шару є неоднорідною. Міцність на стиск на поверхні ремонтного шару сягала 38 МПа, що було задовільним результатом.

Проаналізувавши процес виконання робіт з підсилення залізобетонного перекриття, а також провівши заміри окремих ділянок, нами виявлено основні відхилення в технології виконання робіт (неналежну відстань від поверхні сопла при нанесенні ремонтної суміші та неоднорідність її подачі при сухому нанесенні торкретбетону).

Враховавши виявлені недоліки технології виконання, було рекомендовано процес нанесення торкрету на плити перекриття продовжити. Після врахованих рекомендацій оцінка міцності на розтяг торкрет-бетону (адгезія до поверхні) після забезпечення належного технологічного регламенту перевищила проектні величини і склала 1,57 МПа.

Висновки

У результаті проведених досліджень експериментально оцінили міцність зчеплення бетону плити перекриття з ремонтним шаром армованого торкрет-бетону за різних умов виконання. Врахували технологічні чинники при підсиленні плити перекриття, які впливають на міцність зчеплення ремонтного шару, а саме відстань до поверхні нанесення та однорідність суміші торкрету. Забезпечили належний технологічний регламент виконання робіт, збільшивши міцність на розтяг і зчеплення

ремонтного шару з 0,65 МПа до 1,57 МПа, тобто в 2,41 рази.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося в межах госпдоговірної тематики.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Boyarchuk B.A. Strength, crack resistance and deformation of reinforced concrete structures with different methods of strengthening the tension zone: author's abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences: speciality 05.23.01 "Building structures, buildings and structures" - Lviv, 2003. - 20p.
2. Valovoy O. I., Popruga D. V. Strength of contact seams of reinforced reinforced concrete structures. Roads and bridges: collection of scientific works. Kyiv: DerzhdorNDI, 2009. Issue 11. P. 57-65.
3. Mazurak A. V., Kovalyk I. V., Mykhailechko V. O., Kalitovsky V. M. Strength of contact seams during repair or reinforcement of concrete elements. Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic": theory and practice of construction. Lviv. NU "LP", 2013. No. 755. P. 249-254.
4. Pshynko O. M., Krasnyuk A. V., Gromova O. V. Selection of materials for repair and restoration of concrete and reinforced concrete structures of transport facilities taking into account the compatibility criterion: monograph. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Acad. V. Lazaryan. - Dnipropetrovsk, 2015. - 195

Література

1. Боярчук Б.А. Міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних конструкцій при різних способах підсилення розтягнутої зони: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 „Будівельні конструкції, будівлі та споруди”. Львів, 2003. - 20с.
2. Валовой О. І., Попруга Д. В. Міцність контактних швів підсилених залізобетонних конструкцій. Дороги і мости: зб. наук. пр. Київ: ДерждорНДІ, 2009. Вип. 11. С. 57-65.
3. Мазурак А. В., Ковалик І. В., Михайлечко В. О., Калітовський В. М. Міцність контактних швів під час ремонту чи підсилення бетонних елементів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: теорія та практика будівництва. Львів. НУ «ЛП», 2013. № 755. С. 249-254.
4. Пшінько О. М., Краснюк А. В., Громова О. В. Вибір матеріалів для ремонту

та відновлення бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд з урахуванням критерію сумісності: монографія. Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 195 с.

5. Andrii Mazurak, Ivan Kovalyk, Vasyl Mykhailechko, Justyna Sobczak-Piąstka Strength of joints of concrete abutment surfaces Author & Article Information. AIP Conf. Proc. 2077, 020041-1–020041-7 (2019) <https://doi.org/10.1063/1.5091902>.

6. Xuan-Bach Luu, Seong-Kyum Kim. Finite element modeling of interface behavior between normal concrete and ultra-high performance fiber-reinforced concrete. Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 39177, Republic of Korea, *Buildings 2023, 13(4), 950; <https://doi.org/10.3390/buildings13040950>.

7. Mazurak A.V., Sanitskyi M.A., Mazurak O.T. Estimation of joined operation of shotcrete layer with the surface of concrete and reinforced constructions Praca zbiorowa pod redakcją T. Bobki, J. Rajczyka - «Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym». – Częstochowa. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. – 2010. – S. 211 – 216.

8. Seymour B; Martin L; Clark C; Stepan M; Jacksha R; Pakalnis R; Roworth M; Caceres C. A practical method of measuring shotcrete adhesion strength./ 2010 SME Annual Meeting and Exhibit, February 28 - March 3, Phoenix, Arizona, Preprint 10-137. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2010 Feb 1-9. <https://www.cdc.gov/niosh/mining/works/coversheet1456.html>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 13.11.2025	Received 13.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A.V. Mazurak*

PhD, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7367-774X>

Department of Building Structures

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

T.Yu. Osadchuk

PhD, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8686-7056>

Department of Building Structures

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

T.A. Mazurak

PhD, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8789-3224>

Department of Construction Technology and Organization

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

O.T. Mazurak

Ph.D, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7846-2799>

Department of Ecology and Environmental Protection

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

N.B. Davydovskyi

Postgraduate student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5138-889X>

Department of Building Structures

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky,
Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

*corresponding author, e-mail: amazurak@ukr.net

Reinforcement of the reinforced concrete slab with reinforced shotcrete concrete

How to Cite:

Mazurak A.V., Osadchuk T.Yu., Mazurak T.A., Mazurak O.T., Davydovskyi N.B. (2025). Reinforcement of reinforced concrete floors with reinforced shotcrete. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 196-206. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-16)

Abstract. Today, there is a significant need to restore, repair, and strengthen concrete and reinforced concrete structures. The composite action of the existing reinforced concrete structure and the newly applied reinforced concrete layer plays a crucial role in the load-bearing capacity of strengthened or repaired building structures. Experience in performing repair and strengthening works on reinforced concrete structures confirms that shotcreting technology is one of the most effective and reliable methods for applying protective coatings to concrete surfaces, correcting concrete defects, and reinforcing concrete and reinforced concrete structures.

The study aimed to experimentally evaluate the bond strength between the “old” concrete of the slab and the “new” reinforced shotcrete, and to compare the obtained bond parameters with the design values. Additionally, the study aimed to identify the factors influencing bond strength during the strengthening of a monolithic slab using reinforced shotcreting.

According to the design calculations, the damaged reinforced concrete slab was strengthened with No. 10 A500C mesh with a 200×200 mm spacing and shotcrete applied using the dry-mix “Kimtek” technology.

The tensile strength and adhesive bond strength of the shotcrete applied to the slab were evaluated using an adhesion tester. Control cubes with a shotcrete layer applied were also produced and tested under laboratory conditions.

The experimental studies showed that the bond strength between the concrete slab layer and the shotcrete was 2–3 times lower than the design values. Therefore, it became necessary to identify technological factors under real production conditions that affect bond strength when strengthening a monolithic slab with reinforced shotcrete, and to account for these factors during the execution of the work.

Keywords: reinforcement of reinforced concrete structures, bond strength, reinforced shotcrete, load-bearing capacity.

УДК 624.07:692:725

І. М. Матюшенко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6475-1901>

Кафедра технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів,
Україна, 79057

С. В. Гайда

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

Кафедра технологій меблів та виробів з деревини
Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів,
Україна, 79057

Р. Б. Щупаківський

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5242-1267>

Кафедра технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів,
Україна, 79057

І. І. Салабай

к.т.н., ст.викладач, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6219-9869>

Кафедра технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів,
Україна, 79057

З. П. Копинець

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8977-6953>

Кафедра технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів,
Україна, 79057

*автор-кореспондент, e-mail: matiushenko.im@nltu.edu.ua

Результати обстеження та оцінки технічного стану несучих конструкцій покриття супермаркету з дерев'яними фермами перед встановленням дахової сонячної електростанції

Цитувати як:

Матюшенко, І. М., Гайда, С. В., Щупаківський, Р. Б., Салабай, І. І., Копинець, З. П. (2025).
Результати обстеження та оцінки технічного стану несучих конструкцій покриття
супермаркету з дерев'яними фермами перед встановленням дахової сонячної електростанції.
Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 24, 207-218.
[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-17](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-17)

© 2025, Матюшенко І. М., Гайда С. В., Щупаківський Р. Б., Салабай І. І., Копинець З. П.

*Проведено комплексне детальне обстеження та оцінку технічного стану
будівельних конструкцій покриття супермаркету з метою визначення можливості
встановлення фотогальванічних панелей на покрівлю будівлі. Робота включала
аналіз технічної документації, візуальне та інструментальне обстеження
будівельних конструкцій, перевірки розрахунки.*

Під час візуального огляду були встановлені конструкційні особливості будівлі, уточнений стан стиків елементів і конструкцій, а також ділянки з пошкодженнями та дефектами. За результатами візуального огляду встановлені категорії технічного стану будівельних конструкцій.

Інструментальні дослідження будівельних конструкцій проводилися з використанням методів неруйнівного контролю та включали визначення міцності бетону ультразвуковим методом та визначення параметрів армування магнітним методом для плит покриття, визначення міцності сталі для балки підсилення, а також визначення характеристик деревини ферми покриття.

Перевірки розрахунки проводилися на термін служби в діапазоні 3-60 років. Встановлено, що несуча здатність конструкцій даху з базалітними плитами марки ПК60.12-4АтVт типової серії 1.141-1 при встановленні фотогальванічних елементів забезпечується лише за умови обмеження терміну служби будівлі 5 роками. Несуча здатність конструкцій даху з несучими дерев'яними фермами при встановленні фотогальванічних елементів не забезпечується.

За результатами обстеження розроблено рекомендації щодо можливості експлуатації конструкцій після встановлення дахової сонячної електростанції.

Ключові слова: оцінка технічного стану, детальне обстеження, несучі конструкції, дерев'яна ферма, дахова сонячна електростанція

Вступ

Глобальний енергетичний ринок перебуває на етапі прискореної трансформації, що характеризується переходом від традиційних централізованих мереж до інтеграції децентралізованих енергетичних ресурсів. На цьому тлі, в умовах зростаючої невизначеності ринкових цін на електроенергію, використання фотогальванічних елементів, розташованих на дахах будівель, набуло статусу критично важливого в умовах війни та економічно привабливого рішення для широкого кола споживачів, включаючи великі підприємства, малий бізнес та приватні домогосподарства [1].

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. Вибір оптимального типу розміщення фотогальванічних елементів є першочерговим завданням для забезпечення максимальної ефективності та фінансової доцільності інвестиції. Існуючі рішення охоплюють широкий спектр: від масштабних наземних систем до менш поширених, але перспективних фасадних чи плавучих сонячних електростанцій (СЕС). Проте, з точки зору використання існуючих ресурсів та просторової ефективності згідно з [3, 4], найбільш виправданим є розміщення модулів на вже збудованих площинах дахів. Цей підхід дозволяє не лише ефективно використовувати значні площі, але й мінімізує потребу у відведенні додаткових земельних ділянок, а також, як правило, дозволяє уникнути затінення від сусідніх ділянок.

Незважаючи на очевидні економічні та просторові переваги, інтеграція фотогальванічних елементів у конструкцію даху вимагає

глибокого інженерного аналізу. Встановлення монтажних конструкцій, сонячних панелей та додаткових баластних елементів неминує збільшує постійне та змінне корисне навантаження на конструкції покриття. Крім того, наявність цих елементів значно змінює аеродинамічний профіль даху, суттєво впливаючи на схеми прикладання динамічних вітрових та снігових навантажень. З огляду на це, перед початком проєктування дахової (СЕС) є обов'язковим виконання обстеження технічного стану покриття та несучих конструкцій. Це має супроводжуватися перевірними розрахунками задля визначення фактичної здатності конструкцій сприймати ці додаткові навантаження. З регуляторної точки зору, роботи, які призводять до зміни навантажень на існуючі несучі та/або огорожувальні конструкції або схем їх прикладання, зазвичай класифікуються як капітальний ремонт або реконструкція. Відповідно до чинних положень національних будівельних норм [4] розроблення проєктної документації на такі об'єкти є обов'язковим лише на підставі висновку та/або рекомендацій за результатами обстеження технічного стану будівлі.

Основою для проведення обстеження об'єкта згідно з ДСТУ [5] було технічне завдання, в якому замовником визначені мета обстеження, склад необхідних робіт, форму подання інформації щодо результатів обстежень, тощо. При проведенні робіт з обстеження та оцінювання технічного стану об'єкту експерти керувались вимогами ДСТУ [5], [6].

Мета і завдання дослідження. Основним завданням дослідження була оцінка технічного стану будівельних конструкцій покриття супермаркету з метою визначення можливості встановлення фотогоальванічних панелей на покрівлю будівлі з дерев'яними фермами.

Матеріали та методи

Будівля супермаркету представляє собою прямокутну в плані споруду з розмірами 64,2 x 16,79 м. Будівля супермаркету умовно поділена на два об'єми: двоповерхова частина (осі «1-2/А-Г») та одноповерхова частина (осі «2-13/А-Г»). Встановлення фотогоальванічних елементів планувалось на всю покрівлю будівлі магазину, тому обстеження виконувалось для всієї площини.

Конструкційна схема двоповерхової частини – стінова з поперечними несучими стінами. Фундаменти під стіни - залізобетонні стрічкові. Зовнішні та внутрішні стіни – цегляні товщиною 510 мм. Плити перекриття та покриття – збірні залізобетонні багатопустотні. Плити запроектовані по типовій серії 1.141-1, випуск 61. Покрівля виконана малоухильною. Склад покрівлі за результатами шурфування: похилоутворююча засипка, пароізоляція, утеплювач (жорстка мінераловатна плита), вирівнювальний шар з цементно-піщаною стяжки та гідроізоляційне покриття з двох шарів руберойду.

Конструкційна схема одноповерхової частини на момент обстеження – каркасна, хоча на початковому етапі була стіною з поздовжніми несучими стінами. Проте, після проведення робіт з облаштування супермаркету під нижні пояси кроквяних дерев'яних ферм встановлено підсилюючі сталеві балки на всю довжину нижнього поясу ферм. Спирання балок організовано на стійки, встановлені вздовж зовнішніх стін та в середині прольоту ферм. Стійки виконані зі сталевих прокатних швелерів та зварені в коробку, підсилюючі балки виконані з гарячекатаних швелерів №18, зварених в коробку. В якості несучих конструкцій покриття встановлені дерев'яні кроквяні ферми аркового типу. Верхній пояс ферм виконано з дев'яти дерев'яних брусів перерізом 50×50 мм, нижній пояс з двох брусів перерізом 150×50 мм, елементи решітки виконані з бруса перерізом 150×55 мм. Прогони по фермах виконані з двох дерев'яних брусів перерізом 150×45 мм. По краях ферми встановлені прогони з трьох брусів перерізом 150×45 мм. Покрівля виконана двоскатною. Склад покрівлі: дерев'яна обрешітка, пароізоляція, утеплювач (жорстка мінераловатна плита), гідроізоляція, дерев'яна обрешітка, металочерепиця. Схематичне зображення геометричних параметрів ферми представлено на рис.1.

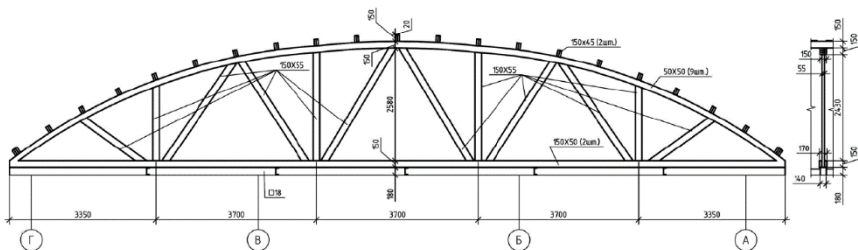


Рис.1. Геометричні параметри дерев'яної ферми покриття

При оцінці технічного стану споруди виконані наступні процедури:

- аналіз технічної документації (проектної, виконавчої, експлуатаційної);
- візуальне обстеження будівельних конструкцій та елементів;
- інструментальне обстеження будівельних конструкцій та елементів;
- перевірки розрахунки;
- оцінка технічного стану за результатами аналізу технічної документації, візуального та інструментального обстежень;
- розробка рекомендацій.

В ході візуального обстеження конструкцій споруди виконані наступні процедури:

- огляд конструкцій з метою визначення фактичної конструкційної схеми;
- визначення стану вузлів сполучення елементів і конструкцій;
- виявлення недоробок, неякісного виконання робіт при будівництві і ремонтах, що призводять до зниження несучої здатності конструкцій;
- оцінка фактичних умов експлуатації конструкцій, виявлення порушень умов нормальної експлуатації;
- визначення ділянок з ушкодженнями і дефектами.

В рамках інструментального обстеження будівельних конструкцій передбачені наступні процедури:

- визначення міцності бетону методами неруйнівного контролю;
- визначення параметрів армування методами неруйнівного контролю;
- визначення характеристик деревини;
- визначення твердості сталі.

Методика інструментального обстеження залізобетонних конструкцій прийнята у відповідності до вимог ДСТУ [7]. Міцність бетону конструкцій визначена ультразвуковим методом із застосуванням приладу «Novotest ИПСМ».

Ультразвуковий метод базується на залежності між швидкістю поширення ультразвукових коливань в бетоні і його міцністю. Ультразвукові вимірювання поширення звукової хвилі в бетоні проведені способами наскрізного або поверхневого прозвучування. На кожній контрольованій ділянці виконано не менше п'яти вимірювань часу поширення ультразвуку при поверхневому прозвучуванні. Міцність бетону на ділянці визначена за середнім значенням отриманих результатів вимірювань часу поширення ультразвуку.

Параметри армування плит визначались магнітним методом згідно з вимогами ДСТУ [8] із застосуванням приладу «Novotest Арматуроскоп».

Характеристики деревини дерев'яних конструкцій визначались згідно з вимогами норм [9, 10] із застосуванням приладу «Testo».

Твердість сталі елементів металоконструкцій визначена із застосуванням твердоміру «Novotest» згідно з ДСТУ [11]. При інструментальному обстеженні металоконструкцій було здійснено вимірювання твердості сталі елементів металоконструкцій за Брінеллем (НВ), після чого визначено механічні характеристики сталі:

- тимчасовий опір розриву (σ_B);
- межа текучості (σ_T);
- відносне видовження (δ_5).

Результати та обговорення

За результатами візуального обстеження встановлено категорії технічного стану конструкцій:

- колони, стійки – нормальний технічний стан (І категорія);
- залізобетонні плити покриття – нормальний технічний стан (І категорія);
- дерев'яні кроквяні ферми – задовільний технічний стан (ІІ категорія);
- дерев'яні прогони – задовільний технічний стан (ІІ категорія);
- сталеві підсилюючі балки – нормальний технічний стан (І категорія);
- покрівля – нормальний технічний стан (І категорія).

Дефектів, які б впливали на несучу здатність несучих конструкцій, не виявлено.

За результатами інструментального обстеження встановлено наступне:

- середня міцність бетону залізобетонних плит покриття складає 24,04 МПа при коефіцієнті варіації 9,3 %, що відповідає класу бетону С16/20;
- вздовж нижньої грані плити виявлені попередньо напружені стрижні діаметром 10 мм, захисний шар бетону плити – 20 мм;
- вологість деревини знаходиться в межах 13%, порода деревини – сосна, експлуатаційний клас – 2;
- тимчасовий опір сталі – 370 МПа, межа текучості – 245 МПа, відносне видовження – 25 %, що відповідає класу сталі С245.

Аналіз типової серії та даних отриманих при інструментальному та візуальному обстеженнях, свідчить про те, що в якості плит покриття розміром 1,2×6 м встановлені плити марки ПК60.12-4АтVт, які запроектовані на розрахункове рівномірне розподілене навантаження – 7,8 кН/м² (780 кг/м²) (з урахуванням власної ваги плити).

Результати перевірних розрахунків плити покриття, які представлені в табл. 1, свідчать про те, що несуча здатність плити покриття при дії граничних розрахункових значень навантажень з встановленням фотогальванічних елементів забезпечується тільки при обмеженні терміну експлуатації до 5 років.

Перевірні розрахунки дерев'яної ферми з підсиленням сталевією балкою проводилися на базі просторової єдиної скінчено-елементної моделі, створеної в ПК ЛІРА - САПР. Будівельні конструкції моделювали двовузловими універсальними стрижневими скінченними елементами (КЕ 10), параметри яких відповідають реальним елементам ферми: нижньому та верхньому поясам, елементам решітки, сталеві балки.

Таблиця 1. Результати перевірних розрахунків плити покриття

Строк експлуатації будівлі, T_{ef} , рік	Розрахункове навантаження на плити покриття, $Q_{розр}$, кН/м^2	Граничне розрахункове навантаження на багатопустотну плиту за даними типової серії 1.141-1, кН/м^2
100	8,56	7,8
60	8,39	
10	7,8	
5	7,56	
3	7,37	
1	7,03	

Загальний вигляд просторової скінчено-елементної моделі представлено на рис.2, вигляд об'ємної моделі представлено на рис.3.

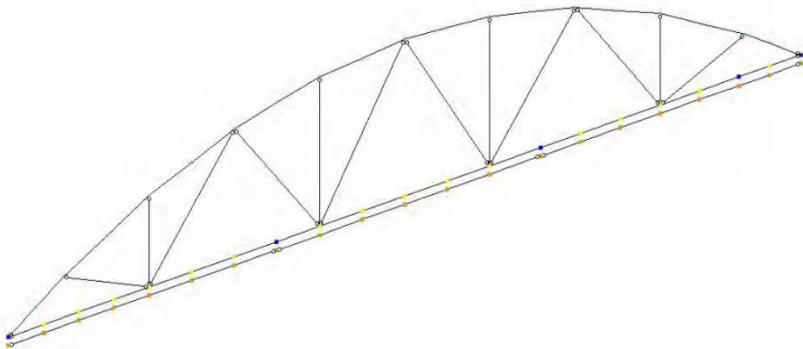


Рис.2. Загальний вигляд просторової скінчено-елементної моделі дерев'яної ферми



Рис.3. Загальний вигляд об'ємної моделі дерев'яної ферми

Результати розрахунків сталеві балки підсилення дерев'яної ферми, які представлені в табл. 2, свідчать про те, що несуча здатність балки при дії граничних розрахункових навантажень зі встановленням фотогальванічних елементів забезпечується при терміні експлуатації будівлі 100 років.

Таблиця 2. Результати перевірих розрахунків сталеві балки підсилення

Найменування елемента	Коефіцієнт використання несучої здатності		
	перша група граничних станів	друга група граничних станів	місцева стійкість
Сталева балка	0,47	0,14	0,3

Результати розрахунків елементів дерев'яної ферми, які представлені в табл. 3, свідчать про те, що несуча здатність дерев'яної ферми при дії граничних розрахункових навантажень зі встановленням фотогальванічних елементів не забезпечується.

Таблиця 3. Результати перевірих розрахунків елементів дерев'яної ферми

Найменування елемента	Гнучкість елемента		Міцність елемента при дії стискаючої поздовжньої сили та згинаючого моменту	Стійкість при дії поздовжньої сили	
	В площині XOY	В площині XOZ		В площині XOZ	В площині XOY
Верхній пояс	0,192	0,192	0,344	0,36	0,36
Нижній пояс	5,196	3,464	0,279	16,098	36,222
Елементи решітки	1,575	0,577	0,224	0,364	2,671

Висновки

За результатами комплексного обстеження будівельних конструкцій покриття супермаркету встановлено, що прийняті об'ємно-планувальні та конструкційні рішення будівлі відповідали вимогам чинних на момент проектування норм і правил. Режими з відхиленнями від нормальної роботи конструкцій не виявлені. Відмов будівельних конструкцій не зафіксовано. За результатами візуального та інструментального обстеження встановлено категорії технічного стану конструкцій. За результатами інструментального обстеження встановлено клас бетону плит покриття будівлі, параметри армування плит, клас сталі балок і характеристики деревини.

Результати перевірих розрахунків відповідно до чинних НД свідчать про те, що несуча здатність конструкцій покриття при встановленні

на покрівлю фотогальванічних панелей для одноповерхової частини будівлі з несучими дерев'яними фермами не забезпечується. Несуча здатність конструкцій покриття двоповерхової частини будівлі з несучими багатопустотними плитами марки ПК60.12-4АтVт типової серії 1.141-1 при встановленні фотогальванічних панелей забезпечується лише при обмежені терміну експлуатації конструкцій покриття не більше ніж 5 років. У разі встановлення дахової СЕС на двоповерхову частину будівлі рекомендовано виконувати обстеження технічного стану будівлі кожні 5 років з підтвердженням можливості подальшої експлуатації.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

- 1.Can decentralized energy get good enough, fast enough? [URL: https://www.ey.com/en_gl/insights/energy-resources/can-decentralized-energy-get-good-enough-fast-enough](https://www.ey.com/en_gl/insights/energy-resources/can-decentralized-energy-get-good-enough-fast-enough) (дата звернення: 10.11.2025).
- 2.Neumüller, A., Geier, S., Österreicher, D. Life Cycle Assessment for Photovoltaic Structures—Comparative Study of Rooftop and Free-Field PV Applications. Sustainability 2023, 15, 13692. <https://doi.org/10.3390/su151813692>.
- 3.Pranavamshu Reddy, M. V. N. Surendra Gupta, Srijita Nundy, A. Karthick and Aritra Ghosh/ Status of BIPV and BAPV System for Less Energy-Hungry Building in India—A Review/ Appl. Sci. 2020, 10(7), 2337. <https://doi.org/10.3390/app10072337>
- 4.DBN A.2.2-3:2014. Structure and content of project documentation for construction. With Amendments No. 1, No. 2. [Valid from 2022-07-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2022. 33 p.
- 5.DSTU 9273:2024. Guidelines for inspection of buildings and facilities for identification and evaluation of their technical condition. Mechanical resistance and stability. [Valid from 2024-09-01]. Official's view. Kiev: DP UkrNDNC, 2024. 78 p.

6.DSTU B V.2.6-210-2016. Technical state assessment of steel building constructions being in service. [Valid from 2017-01-01]. Official's view. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016. 53 p.

7.DSTU B V.2.7-226:2009. Building materials. Concretes. Ultrasonic method of strength determination. [Valid from 2010-09-01]. Official's view. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010. 26 p.

8. DSTU B V..2.6-4-95. Reinforced concrete structures. Magnetic method for the determination of the thickness of concrete protection layer and the location of the reinforcement. [Valid from 1995-07-01]. Official's view. Kyiv: Dergcom Ukraine, 1996. 16 p.

9.DSTU 4922:2008. Timber and sawn wood. Determination methods damp. [Valid from 2009-07-01]. Official's view. Kyiv:: NUBiP, 2008. 12 p.

10. DBN V.2.6-161:2017. Design of timber construction. Common rules. [Valid from 2018-02-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2022. 11 p.

11. DSTUY EN ISO 6506-1:2019 Metallic materials. Brinell hardness test. Part 1: Test method (EN ISO 6506-1:2014, IDT; ISO 6506-1:2014, IDT). [Valid from 2019-11-01]. Official's view. Kyiv: DP UkrNDNT, 2019. 10 p.

Література

1.Can decentralized energy get good enough, fast enough? URL: https://www.ey.com/en_gl/insights/energy-resources/can-decentralized-energy-get-good-enough-fast-enough (дата звернення: 10.11.2025).

2.Neumüller, A., Geier, S., Österreich, D. Life Cycle Assessment for Photovoltaic Structures – Comparative Study of Rooftop and Free-Field PV Applications. Sustainability. 2023, 15, 13692. <https://doi.org/10.3390/su151813692>.

3.Pranavamshu Reddy, M. V. N. Surendra Gupta, Srijita Nundy, A. Karthick and Aritra Ghosh/ Status of BIPV and BAPV System for Less Energy-Hungry Building in India—A Review/ Appl. Sci. 2020, 10(7), 2337. <https://doi.org/10.3390/app10072337>

4.ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Зі Змінами № 1, № 2 та Поправкою до Зміни № 2. [Чинний від 2022-07-01]. Київ: Мінрегіон України, 2022. 33 с.

5.ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. [Чинний від 2024-09-01]. Вид.офіц. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2024. 78 с.

6.ДСТУ Б В.2.6-210-2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. [Чинний від 2017-01-01]. Вид.офіц. Київ: Мінрегіон України, 2016. 53 с.

7.ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. [Чинний від 2010-09-01]. Вид.офіц. Київ: Мінрегіон України, 2010. 26 с.

8. ДСТУ Б В.2.6-4-95. Конструкції залізобетонні. Магнітний метод визначення товщини захисного шару бетону і розташування арматури. [Чинний від 1995-07-01]. Вид.офіц. Київ: Держком України, 1996. 16 с.

9. ДСТУ 4922:2008. Лісоматеріали та пилопродукція. Методи визначення вологості. [Чинний від 2009-07-01]. Вид.офіц. Київ: НУБіП, 2008. 12 с.

10. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2018-02-01]. Київ: Мінрегіон України, 2022. 11 с.

11. ДСТУ EN ISO 6506-1:2019 Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 1. Метод випробування (EN ISO 6506-1:2014, IDT; ISO 6506-1:2014, IDT). [Чинний від 2019-11-01]. Вид.офіц. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2019. 10 с.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 16.11.2025	Received 16.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 21.11.2025	Received in revised form 21.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

I. M. Matiushenko*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6475-1901>
Department of Saw-milling, Joinery and Wooden Building Products
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynky St., 103, L'viv, Ukraine, 79057

S. V. Gayda

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>
Department of Furniture and Wood Products Technology
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynky St., 103, L'viv, Ukraine, 79057

R. B. Shchupakivsky

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5242-1267>
Department of Saw-milling, Joinery and Wooden Building Products
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynky St., 103, L'viv, Ukraine, 79057

I. I. Salabay

Ph.D. in Engineering, Senior Lector, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6219-9869>
Department of Saw-milling, Joinery and Wooden Building Products
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynky St., 103, L'viv, Ukraine, 79057

Z. P. Kopynets

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8977-6953>
Department of Saw-milling, Joinery and Wooden Building Products
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynky St., 103, L'viv, Ukraine, 79057

*corresponding author, e-mail: matiushenko.im@gmail.com

Results of the inspection and technical assessment of load-bearing structures with wooden roof trusses for a supermarket before the installation of a rooftop solar power plant

How to Cite:

Matiushenko, I. M., Gayda, S. V., Shchupakivsky, R. B., Salabay, I. I., Kopynets, Z. P. (2025). Results of the inspection and technical assessment of load-bearing structures with wooden roof trusses

for a supermarket before the installation of a rooftop solar power plant. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 207-218. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-17](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-17)

Abstract. A comprehensive inspection and technical assessment of the roof building structures of the supermarket was carried out in order to determine the possibility of installation photovoltaic panels on the roof of the building. The work included an analysis of technical documentation, visual and instrumental inspection of structures, verification calculations.

During the visual inspection, the structural features of the building were clarified, the condition of the joints of elements and structures and areas with damage and defects were identified. Based on the results of the visual inspection, the categories of the technical condition of the structures were ascertained.

Instrumental surveys of building structures were conducted using non-destructive testing methods and included determination of concrete strength by the ultrasonic method and determination of reinforcement parameters by the magnetic method for roof slabs, determination of steel strength for the strengthening beam, as well as determination of timber characteristics for the roof truss

Verification calculations were carried out for a service life ranging from 3 to 60 years. It was established that the bearing capacity of the roof structures with multi-hollow core slabs of the PK60.12-4AtVt typical series 1.141-I, when installing photovoltaic elements, is ensured only on condition of limiting the building's service life to 5 years. The bearing capacity of the roof structures with load-bearing timber trusses is not ensured when installing photovoltaic elements.

Based on the survey results, recommendations were developed regarding the possibility of operating the structures after the installation of a rooftop solar power plant.

Keywords: Technical assessment, detailed inspection, load-bearing structures wooden truss, rooftop solar power plant

УДК 005.95:624

Л.М. Мельник*

д.е.н., професор, ORCID [0000-0001-8844-5490](https://orcid.org/0000-0001-8844-5490)

кафедра будівельної механіки

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56,
м. Тернопіль, 46025, Україна

В.П. Ясній

д.т.н., професор, ORCID [0000-0002-5768-5288](https://orcid.org/0000-0002-5768-5288)

кафедра будівельної механіки

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56,
м. Тернопіль, 46025, Україна

О.М. Мещерякова

ст.викладач, ORCID [0000-0003-1563-9870](https://orcid.org/0000-0003-1563-9870)

кафедра будівельної механіки

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56,
м. Тернопіль, 46025, Україна

*автор-кореспондент, e-mail: liliana.mel0512@gmail.com

Компетентності майбутнього: роль BIM у підготовці будівельних кадрів

Цитувати як:

Мельник Л.М., Ясній В.П., Мещерякова О.М. (2025). Компетентності майбутнього: роль BIM у підготовці будівельних кадрів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 219-234. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-18)

© 2025, Мельник Л.М., Ясній В.П., Мещерякова О.М.

У статті наведено результати дослідження ключових компетентностей з будівельного інформаційного моделювання сучасних фахівців будівельної галузі. Зроблено аналіз трактувань поняття «будівельне інформаційне моделювання» вітчизняними науковцями. У праці зазначено, що сучасна концепція BIM охоплює декілька вимірів, що є розширенням функціональних можливостей інформаційної моделі, які виходять за межі базового 3D-моделювання. З огляду на це описано характеристики BIM-вимірів. Досліджено стан застосування функцій BIM європейськими підрядниками в будівельній галузі у 2023 році. У результаті встановлено, що весь потенціал BIM ще не реалізований, оскільки зв'язок з 4D (часове планування), 5D (витрати), 6D (енергоефективність та сталий розвиток) та 7D (управління життєвим циклом) не використовується багатьма підрядниками. Виявлено, що з розвитком цифрових технологій та зростанням потреб у комплексному управлінні будівельними проектами, концепція BIM постійно розширюється. Поряд із застосовуваними вимірами – від 3D до 7D – у практиці з'являються нові рівні деталізації, що охоплюють додаткові аспекти життєвого циклу об'єкта. Зокрема, йдеться про 8D, 9D та 10D, кожен з яких розширює можливості цифрового моделювання в будівництві.

У статті визначено, що у відповідь на зростаючі потреби ринку, багато компаній відкривають нові вакансії, що безпосередньо пов'язані з використанням

ВІМ, зокрема: ВІМ-координатор, ВІМ-моделер, ВІМ-менеджер, ВІМ-аналітик та ВІМ-інженер.

У розрізі визначених ВІМ-вимірів описано ключові технічні ВІМ-компетентності для фахівців будівельної галузі, а також виокремлено нетехнічні (так звані, «м'які навички» та міждисциплінарні уміння) компетентності, зокрема: управлінські, комунікативні, цифрові, етичні та лідерські. У сукупності перелічені компетентності забезпечують здатність фахівця ефективно реалізовувати проєкти, координувати роботу команди та впроваджувати інноваційні рішення у будівельній галузі.

Ключові слова: компетентності, будівельне інформаційне моделювання, проектування, управління, фахівці, життєвий цикл проєкту.

Вступ

Сучасна будівельна галузь переживає етап глибокої цифрової трансформації, що охоплює всі етапи реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. Інтеграція цифрових технологій у процеси проектування, будівництва, експлуатації та демонтажу об'єктів стає не просто конкурентною перевагою, а необхідною умовою для забезпечення ефективності, точності та стійкості розвитку галузі. У цьому контексті особливе значення набуває технологія інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM), яка дедалі більше утверджується як міжнародний галузевий стандарт.

BIM забезпечує цілісне цифрове представлення об'єкта будівництва, дозволяючи здійснювати комплексне управління інформацією на всіх стадіях життєвого циклу. Вона істотно змінює характер професійної діяльності інженерів, архітекторів, кошторисників і менеджерів проєктів, вимагаючи від них нових знань, умінь і способів взаємодії в міждисциплінарному середовищі. У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба у переосмисленні системи підготовки майбутніх фахівців для будівельної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток будівельної галузі в умовах цифрової трансформації зумовлює зростання наукового та практичного інтересу до проблематики впровадження технологій BIM у практику галузі будівництва. Дослідження останніх років засвідчують, що BIM розглядається не лише як інструмент цифрового моделювання, але й як методологія, що забезпечує інтеграцію інформаційних процесів на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта. Науковці (Андрухов В., Басістий В., Гудима Л., Іщенко С., Київська К., Кулік М., Куліш С., Лузіна Ю., Мудрий І., Потеха А., Трач Р. та інші) акцентують увагу на багатовимірності концепції BIM, яка охоплює від базового 3D-моделювання до розширених вимірів, пов'язаних із плануванням часу, управлінням витратами, енергоефективністю, сталим розвитком та експлуатацією об'єкта.

Водночас у науковій літературі все більше уваги приділяється питанням формування нових компетентностей майбутніх інженерів і менеджерів будівельної сфери, здатних ефективно застосовувати BIM-технології (Єрмолович Д., Левченко О., Михайленко А., Чертков О., Цегельний В.).

Також у наукових публікаціях можна простежити позицію, відповідно до якої BIM розглядається як методологія управління проектами, що інтегрує процеси планування, координації та контролю. Сюди можна віднести праці таких авторів як: Войтович В., Доненко В., Іщенко О., Вакулюк Я., Перегінець І., Смірнов Ю., Починок Н., Лупійчук А., Шебек М., Дубинка О., Петренко Д., Орищенко В., Тугай А. та інші.

Мета і завдання дослідження. Попри активне впровадження BIM у проектно-будівельну практику, освітні програми у багатьох вітчизняних та зарубіжних закладах вищої освіти поки що не повною мірою відповідають сучасним запитам ринку праці. Існує суттєвий розрив між очікуваними компетенціями з боку роботодавців і фактичним рівнем підготовки випускників будівельних спеціальностей. Це зумовлює необхідність комплексного аналізу вимог до BIM-компетентностей, а також переорієнтації навчальних процесів відповідно до викликів цифрової епохи.

Метою цієї статті є визначення основних BIM-компетентностей, які мають бути сформовані в процесі підготовки майбутніх фахівців будівельного профілю.

Матеріали та методи

У дослідженні основну увагу було приділено вивченню компетентностей майбутніх будівельних фахівців у контексті застосування BIM (Building Information Modeling) як інструмента формування професійних і міждисциплінарних навичок. Матеріалами дослідження стали:

- академічні джерела – наукові статті, монографії та методичні посібники з тематики BIM, проектного менеджменту, ощадного будівництва та управління життєвим циклом об'єктів [1-16];
- експертні звіти, що спрямовані на ідентифікацію ключових BIM-компетентностей та вимог до підготовки майбутніх спеціалістів [17, 18].

Методи дослідження включали систематизацію та класифікацію компетентностей відповідно до BIM-вимірів 3D-10D (Тривимірне інформаційне моделювання будівель, часове планування, витрати, сталий розвиток, безпека, життєвий цикл, ощадне будівництво, управління об'єктом), що дозволило комплексно оцінити роль BIM у формуванні компетентностей майбутніх будівельних фахівців та визначити ключові напрями їхнього розвитку у контексті цифрової трансформації галузі.

Результати та обговорення

Будівельне інформаційне моделювання (Building Information Modeling, BIM) – це методологія створення, використання та управління цифровим представленням фізичних і функціональних характеристик будівельного об'єкта. На відміну від традиційного підходу до проектування, що базується на окремих двовимірних кресленнях, BIM передбачає формування тривимірної моделі, яка інтегрує технічну, технологічну, економічну та іншу інформацію, необхідну для реалізації, експлуатації та утилізації об'єкта.

В сучасній науковій літературі вже є достатньо напрацювань щодо сутності та значимості BIM для будівельної практики. Для прикладу, Трач Р.В. стверджує, що моделювання інформації про будівлю є системою, яка дозволяє цифровий опис багатьох параметрів будівельного об'єкту на етапах проектування, реалізації та використання [12]. Войтович В.А. розглядає BIM крізь призму управління проектами, що забезпечує більш інтегрований і ефективний спосіб проектної документації, розрахунків, контролю якості та управління ресурсами [2].

BIM-технологія також корисна для економічних цілей. У праці Починок Н.В. і Лупійчук А.І. зазначається, що сформовану за допомогою технології BIM інформаційну модель будівництва можна використовувати не лише для проектно-візуального й технічного проектування, а й для фінансово-облікових цілей, що передбачає розподіл моделі на окремі елементи, для яких необхідно планувати потреби у матеріалах, будівельних конструкціях, час роботи працівників та будівельної техніки тощо [11].

Колектив авторів [13] переконані, що важливою особливістю BIM є наявність єдиної інформаційної моделі будівлі, яку можна ефективно використовувати протягом усього життєвого циклу будівлі, адже, окрім загально визначених даних про характеристики об'єкта (технологічні, технічні, архітектурні, інженерно-будівельні, кошторисні, економічні), база може доповнюватися юридичною, експлуатаційною, екологічною та іншою інформацією.

У праці [14] зауважено, що BIM-модель містить не тільки інтелектуальну інформацію про об'єкти, які в неї входять, але й параметричні взаємозв'язки між ними. Це дозволяє приймати управлінські рішення на будь-якому з етапів життєвого циклу будівельного об'єкта, при цьому нові дані в інформаційну модель можуть постійно додаватися.

Як зазначалося, сучасна концепція BIM охоплює декілька вимірів, що є розширенням функціональних можливостей інформаційної моделі, які виходять за межі базового 3D-моделювання. Кожен додатковий вимір додає до цифрової моделі новий тип інформації або інтегрує її з конкретним процесом управління у будівництві (табл. 1).

Таблиця 1. Виміри BIM та їхнє призначення

Вимір	Назва	Короткий опис
3D	Тривимірне інформаційне моделювання будівель	Візуалізація об'єкта в об'ємному середовищі
4D	Часове планування	Інтеграція моделі з календарним плануванням будівництва (часовий вимір)
5D	Управління витратами	Додавання до моделі кошторисної інформації (вартісний аналіз)
6D	Енергоефективність та сталий розвиток	Аналіз сталого розвитку, життєвого циклу та енерговитрат
7D	Управління життєвим циклом об'єкта	Управління експлуатацією, технічним обслуговуванням та життєвим циклом об'єкта

Представлена таблиця відображає етапність розвитку BIM-моделей у контексті їх функціонального наповнення та ролі на різних стадіях життєвого циклу будівельного об'єкта. Тривимірне інформаційне моделювання будівель (3D) є вихідним рівнем BIM і базується на створенні тривимірної цифрової моделі, яка замінює традиційні креслення. Основна мета – забезпечити візуалізацію архітектурно-конструктивних рішень і полегшити міждисциплінарну координацію. Рівень 4D додає до моделі вимір часу, що дозволяє моделювати логіку виконання робіт, формувати графіки будівництва та здійснювати симуляцію процесу реалізації проекту. Такий підхід допомагає уникати конфліктів у плануванні та зменшувати простой на будмайданчику. 5D забезпечує зв'язок геометрії та графіку з фінансовими показниками. Це дозволяє здійснювати оперативний аналіз вартості будівництва, оцінювати вплив проєктних змін на бюджет та приймати обґрунтовані управлінські рішення в реальному часі. Рівень 6D фокусується на оцінці екологічної та енергетичної ефективності об'єкта. Цей вимір актуалізується у контексті сталого розвитку та дозволяє моделювати вплив будівлі на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу. А рівень 7D вже переходить від проєктно-будівельної функції до функції управління нерухомістю. Модель на цьому етапі містить усі необхідні дані для технічного обслуговування, планових ремонтів, моніторингу стану інженерних систем тощо.

Незважаючи на активне впровадження BIM-технологій, його потенціал залишається частково нереалізованим, зокрема через обмежене використання розширених вимірів – 4D (часове планування), 5D (управління витратами), 6D (енергоефективність та сталий розвиток) та 7D (управління життєвим циклом об'єкта).

Дослідження динаміки обізнаності та практичного використання технології інформаційного моделювання будівель серед архітекторів, підрядників і монтажників в країнах ЄС з 2010 по 2024 рік демонструє стійке зростання обізнаності у трьох групах стейкхолдерів (архітектори, підрядники та монтажники) [17]. Найвищий рівень обізнаності зафіксовано серед архітекторів (з 40% до 92%), що вказує на глибоку інтеграцію BIM в архітектурну практику. Згідно з наданими результатами опитування серед підрядників та монтажників обізнаність також зросла, досягнувши 47% та 44% відповідно. Проте, незважаючи на це, практичне застосування BIM залишається значно нижчим: якщо у архітекторів використання BIM зросло до 45%, то серед підрядників і монтажників цей показник становить лише 11% та 9% відповідно. Цей значний розрив між теоретичним знанням і практичним використанням вказує на наявність суттєвих бар'єрів для впровадження технології.

Згідно досліджень USP Marketing Consultancy, провідної глобальної агенції з дослідження ринку в секторах будівництва, монтажу та ремонту житла, незважаючи на те, що користувачі використовують не всі функції BIM, все ж спостерігається зростання використання окремих функцій, що свідчить про те, що європейські підрядники все більше використовують потенціал BIM (рис. 1) [17]. Слід зауважити, що зростання спостерігається переважно в більш базових функціях, а не в функціях, що дозволяють пов'язувати планування, витрати та життєвий цикл проекту.

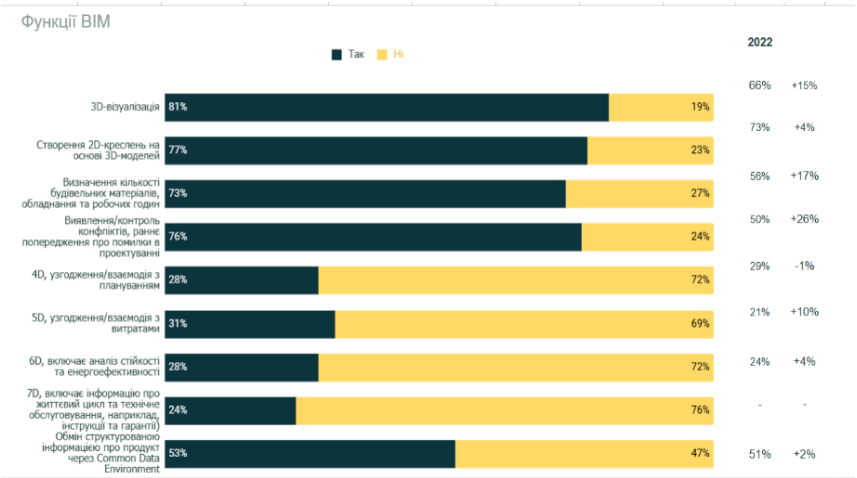


Рис. 1. Застосування функцій BIM в будівельній галузі у 2023 році

Як видно з рисунка, функції BIM, які найчастіше використовують підрядники, в основному пов'язані з проектуванням, тобто 3D-візуалізація,

створення 2D-креслень та виявлення конфліктів. Ці функції також найчастіше використовують архітектори. Зауважимо, що використання цих функцій підрядниками зросло порівняно з попереднім роком. Ще одна, більш типова для підрядників функція, також використовується дуже часто: визначення кількості матеріалів, обладнання та робочих годин. Ця функція менш актуальна для архітекторів, оскільки вона більше впливає на діяльність підрядників.

Бачимо, що весь потенціал BIM ще не реалізований, оскільки зв'язок з 4D (часове планування), 5D (витрати), 6D (енергоефективність та сталий розвиток) та 7D (управління життєвим циклом) не використовується багатьма підрядниками. Максимум третина всіх підрядників, які використовують BIM, користуються цими функціями. Ці функції також є більш актуальними для підрядників, ніж для архітекторів.

Однією з переваг використання BIM, що недостатньо висвітлюється у науковій та практичній літературі, є зменшення витрат, пов'язаних із помилками та дефектами в процесі реалізації проекту. Так, середній рівень таких витрат у проектах, де BIM не застосовується, становить близько 11,3%, тоді як за умови використання BIM цей показник знижується до 7,0%. Залучення додаткових функціональних вимірів (4D-7D) може сприяти ще більшому зниженню зазначених витрат і підвищенню загальної ефективності управління будівельними проектами.

З розвитком цифрових технологій та зростанням потреб у комплексному управлінні будівельними проектами, концепція BIM постійно розширюється. Поряд із застосовуваними вимірами – від 3D до 7D – у практиці з'являються нові рівні деталізації, що охоплюють додаткові аспекти життєвого циклу об'єкта. Зокрема, йдеться про 8D, 9D та 10D, кожен з яких розширює можливості цифрового моделювання в будівництві. 8D зосереджується на забезпеченні безпеки та охорони праці, дозволяючи ідентифікувати потенційні ризики, планувати безпечні маршрути для персоналу, оптимізувати логістику будмайданчика та моделювати надзвичайні ситуації. Це сприяє зниженню травматизму та дотриманню норм техніки безпеки. 9D інтегрує принципи ощадного будівництва, спрямовані на усунення втрат, підвищення ефективності використання ресурсів і кращу координацію робіт, часто із застосуванням методологій, як-от система «Останній планувальник» чи «Точно-Вчасно». 10D наразі не має усталеного визначення, проте охоплює перспективні напрями розвитку: інтеграцію з технологіями «Розумне будівництво» та штучний інтелект, підтримку адаптивного використання будівель, врахування соціального комфорту користувачів і принципів сталого розвитку відповідно до ESG-критеріїв.

Таким чином, BIM виступає не лише інструментом візуалізації, а повноцінною платформою для управління інформацією на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта – від проектування й будівництва до

експлуатації, реконструкції чи демонтажу. Це дозволяє підвищити точність проектних рішень, зменшити кількість помилок, оптимізувати витрати, скоротити терміни виконання робіт і забезпечити прозорість процесів для всіх учасників проекту. У цьому контексті BIM слід розглядати не лише як технологію чи програмне забезпечення, а як стратегію управління даними, яка змінює принципи взаємодії в будівельній індустрії та формує нові вимоги до компетенцій фахівців.

У контексті цифровізації будівельної галузі, технологія інформаційного моделювання будівель перетворюється з інноваційного підходу на стандарт практики для архітекторів, інженерів, проєктувальників і менеджерів проєктів. Впровадження BIM забезпечує підвищення ефективності на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта – від концепції до експлуатації та демонтажу. Це вимагає нових цифрових компетентностей від майбутніх фахівців.

У відповідь на зростаючі потреби ринку, багато компаній відкривають нові вакансії, безпосередньо пов'язані з використанням BIM. Найпоширенішими з них є: BIM-координатор, BIM-моделер, BIM-менеджер, BIM-аналітик та BIM-інженер.

Вимоги до BIM-координатора пов'язані з організацією ефективної взаємодії між усіма учасниками проєкту, забезпеченням інтеграції моделей різних розділів (архітектурних, конструктивних, інженерних) у загальну інформаційну модель, виявленням колізії та здійсненні перевірки на відповідність BIM-стандартам.

Інженер-моделер (BIM-моделер) – це фахівець, який створює інформаційні моделі будівельних об'єктів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, зокрема Revit, ArchiCAD, Tekla Structures та інших. Його завдання полягає у формуванні цифрових 3D-, 4D- та 5D-моделей, які містять геометричні, часові та вартісні характеристики. Такий спеціаліст інтегрує технічні параметри елементів у модель, формує креслення, специфікації, а також готує документацію, необхідну для проєктування та будівництва.

BIM-менеджер відповідає за стратегічне управління BIM-процесами на рівні окремого проєкту або всієї організації. До його функціональних обов'язків належить розробка та впровадження BIM-стандартів, підготовка та супровід плану реалізації BIM, а також координація команд і контроль відповідності моделей вимогам замовника та міжнародним нормам, зокрема ISO 19650. BIM-менеджер є ключовою фігурою в забезпеченні ефективної та якісної реалізації цифрового моделювання на практиці.

BIM-аналітик, у свою чергу, здійснює аналітичну обробку даних, що містяться в інформаційній моделі, з метою підтримки прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Його діяльність включає створення інтерактивних аналітичних панелей, моделювання сценаріїв розвитку проєкту, а також оцінку параметрів вартості, графіка виконання робіт,

енергоефективності та довгострокової експлуатації об'єкта. Завдяки BIM-аналітиці можливе точніше планування ресурсів і прогнозування ризиків у будівельному процесі.

BIM-інженер – це технічний спеціаліст, який поєднує знання в галузі інженерії та цифрового моделювання. Його основна функція – забезпечення точності інженерних розрахунків і технічної коректності моделі, зокрема щодо систем водопостачання, опалення, вентиляції, електропостачання та інших мереж. BIM-інженер верифікує вхідні дані, перевіряє їхню відповідність технічним нормам і координує інтеграцію інженерних рішень у загальну інформаційну модель об'єкта.

Аналіз вимог до кандидатів на міжнародних платформах для пошуку роботи (наприклад, LinkedIn, Indeed, Jooble) підтверджує, що серед ключових вимог для фахівців у будівельній галузі є BIM-компетенції. Зокрема, досвід роботи з ключовим програмним забезпеченням (Revit, Navisworks, AutoCAD Civil 3D, ArchiCAD), знання міжнародних стандартів (IFC, ISO 19650), а також практичні навички роботи з платформами загального середовища даних (CDE), такими як BIM 360 або Trimble Connect. Подібна тенденція спостерігається і на українському ринку, де кількість вакансій, що вимагають наявності BIM-навичок, постійно зростає, що свідчить про зростаючу інтеграцію BIM-технологій у будівельну практику в Україні.

Згідно з дослідженням World Economic Forum, до 2030 року понад 50% технічних спеціалістів у сфері проєктування та будівництва повинні володіти компетентностями будівельного інформаційного моделювання [18]. Беручи за основу визначені вище виміри BIM, можна сформулювати ключові компетентності для будівельних фахівців (табл. 2).

Таблиця 2. Ключові BIM-компетентності для фахівців будівельної галузі

Вимір BIM	Необхідна компетентність фахівця
Тривимірне інформаційне моделювання будівель (3D)	– здатність створювати та редагувати інформаційні моделі будівель і споруд у спеціалізованих BIM-платформах (Revit, Navisworks, AutoCAD Civil 3D, ArchiCAD тощо); – вміння працювати з IFC-форматом і забезпечувати сумісність моделей.
Часове планування (4D)	– здатність інтегрувати календарні графіки будівництва з будівельними інформаційними моделями; – можливість аналізувати сценарії будівництва, виявляти ризики та оптимізувати послідовності робіт.
Вартісне моделювання (5D)	– навички формування кошторисів і бюджетів на основі цифрових моделей;

	– вміння використовувати BIM для контролю витрат, ресурсів та економічної ефективності проєктів.
Енергоефективність та сталий розвиток (6D)	– здатність проводити аналіз енергоспоживання та теплотехнічних характеристик об'єкта у BIM-середовищі; – здатність прогнозувати вплив різних проєктних рішень на енергозбереження та обирати оптимальні варіанти; – уміння інтегрувати в інформаційну модель екологічні показники (вуглецевий слід, використання матеріалів, утилізація відходів), враховувати принципи «зеленої» сертифікації (LEED, BREEAM тощо) та підтримувати прийняття рішень на користь екологічно та економічно збалансованих рішень.
Управління життєвим циклом об'єкта (7D)	– здатність збирати, систематизувати й підтримувати актуальність інформації про конструктивні елементи, інженерні системи, матеріали та обладнання для подальшої експлуатації об'єкта; – уміння застосовувати інформаційну модель для прогнозування витрат, управління ремонтами, модернізаціями та утилізацією, враховуючи економічні, екологічні й соціальні аспекти.
Безпека та охорона праці (8D)	– здатність використовувати BIM для ідентифікації небезпечних зон, візуалізації ризиків та моделювання безпечних сценаріїв виконання будівельно-монтажних робіт; – уміння інтегрувати в інформаційну модель правила, стандарти й процедури безпеки, забезпечуючи узгодженість дій усіх учасників будівництва та контроль виконання вимог охорони праці.
Ощадне будівництво (9D)	– здатність застосовувати принципи ощадного будівництва (усунення втрат, оптимізація потоків, скорочення простоїв) через цифрові моделі та інструменти BIM, інтегруючи планування, логістику та контроль ресурсів у реальному часі; – уміння використовувати BIM для синхронізації дій учасників будівництва, впровадження методологій «Останній планувальник» (Last Planner System) та «Точно-Вчасно» (Just-in-Time), що забезпечує ефективне планування і мінімізацію втрат матеріалів, часу та вартості.

Управління об'єктом протягом життєвого циклу (10D)	– уміння інтегрувати BIM з системами управління будівлями (CAFM, IoT, BMS) для оптимізації витрат на експлуатацію, підвищення комфорту користувачів і продовження терміну служби об'єкта.

Для будівельних фахівців, окрім технічних BIM- і професійних компетентностей, важливий цілий спектр, так званих, «м'яких навичок» та міждисциплінарних умінь, які підсилюють ефективність роботи. Так, управлінські та комунікативні компетентності є критично важливими для сучасних будівельних фахівців, оскільки вони забезпечують ефективну організацію робочих процесів і взаємодію між учасниками проекту. Управлінські компетентності включають здатність до проєктного менеджменту, що передбачає планування, координацію та контроль виконання робіт, а також володіння тайм-менеджментом для роботи з графіками, дедлайнами та пріоритетами.

Важливою є й компетентність у ризик-менеджменті, яка дозволяє передбачати можливі загрози та приймати своєчасні управлінські рішення. Поряд із цим ключове значення мають комунікативні навички, зокрема здатність працювати в команді, забезпечуючи ефективну взаємодію з колегами, субпідрядниками та замовниками.

У контексті міжнародних проєктів важливою є міжкультурна комунікація, що сприяє порозумінню між представниками різних культур. Також цінною є здатність чітко презентувати та аргументувати технічні рішення, пояснюючи їх навіть нефахівцям, що значно підвищує прозорість і якість прийняття рішень.

Цифрові, етичні та лідерські компетентності будівельних фахівців також доповнюють технічні навички і забезпечують ефективну та відповідальну роботу у сучасному професійному середовищі. Цифрові компетентності передбачають володіння цифровою грамотністю, включно з роботою у BIM-середовищі, хмарних сервісах та системах кібербезпеки, а також уміння аналізувати дані, інтерпретувати результати моделювання і приймати обґрунтовані рішення на основі аналітики. Етичні компетентності охоплюють дотримання стандартів сталого розвитку, врахування екологічних і соціальних аспектів проєктів, а також професійну етику та відповідальність, що проявляються у чесності, прозорості та здатності приймати етичні рішення у складних ситуаціях. Лідерські та інноваційні компетентності включають уміння мотивувати та керувати командою, передавати знання та досвід, розвивати креативне і інноваційне мислення, а також демонструвати гнучкість і адаптивність до змін технологій, процесів і ринкових умов. У сукупності ці компетентності забезпечують здатність фахівця ефективно реалізовувати проєкти, координувати роботу команди і впроваджувати інноваційні рішення у будівельній галузі.

Висновки

Дослідження підтвердило, що BIM є ключовим інструментом формування компетентностей майбутніх будівельних фахівців. Його використання сприяє розвитку не лише технічних навичок, таких як тривимірне інформаційне моделювання будівель, планування, управління витратами, енергоефективність, безпека та управління життєвим циклом об'єкта, а й міждисциплінарних компетентностей – управлінських, комунікативних, цифрових, етичних і лідерських.

BIM дозволяє інтегрувати інформаційне моделювання у професійну практику, підвищує аналітичне мислення, здатність до координації та командної взаємодії, а також готує фахівців до роботи в умовах цифрової трансформації будівельної галузі. Результати підкреслюють, що формування компетентностей через BIM є важливим напрямом розвитку професійної підготовки та розвитку висококваліфікованих спеціалістів, здатних ефективно працювати в сучасному інноваційному середовищі.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження підготовлене в рамках проєкту Erasmus+ Jean Monnet «EU experience in Digital Transformation through BIM: Lessons for Ukraine» (BIMTech) (номер гранту: 101127858). Автори висловлюють щирю подяку Європейській Комісії за підтримку та фінансування, що сприяють реалізації дослідження та поширенню знань у сфері цифрових технологій.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Andrukhov, V., Potekha, A., Basisti, V. (2024). Comprehensive assessment of the feasibility of using BIM technologies for a construction project. *Modern technologies, materials and structures in construction*, Volume 36, No. 1. Pp. 161-165. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-161-165> (in Ukrainian).
2. Voitovych, V. (2025). The impact of BIM technologies on the efficiency of construction management. *Contemporary problems of architecture and urban planning*, Issue 71. Pp. 646-657. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.646-657> (in Ukrainian).

3. Hudyma, L. (2014). BIM technologies in construction: current challenges for Ukraine. *Biznesinform*, No. 2. Pp. 97-104. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-2-97-104> (in Ukrainian).
4. Donenko, V., Ishchenko, E., & Vakuliuk, Y. (2019). BIM-technologies as a method of optimizing the use of resources in the construction industry. *Ways to Improve Construction Efficiency*, (41), 141-147. <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.41.141-147> (in Ukrainian).
5. Kyivska, K., Luzina, Yu. (2021). Prospects for the implementation of BIM technologies in the domestic construction industry. *Management of Complex Systems Development*, (46), 63-69. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.46.63-69> (in Ukrainian).
6. Kulik, M., Kulish, S., Ishchenko, S. (2020). Implementation of the latest digitalised software complexes based on BIM technologies in construction in Ukraine. *Scientific Bulletin of Construction*. Series "Construction", No. 2. Pp. 301-306. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/360/353> (in Ukrainian).
7. Levchenko, O., Mykhailenko, A. (2022). BIM technologies in higher education institutions at bachelor's and master's level. *Contemporary problems of architecture and urban planning*, Issue 62. Pp. 152-170. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.62.152-170> (in Ukrainian).
8. Levchenko, O., & Mykhailenko, A. (2021). Aspects of BIM-manager training. Current Problems of Architecture and Urban Planning, (59), 118-131. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.59.118-131> (in Ukrainian).
9. Mudryi, I. (2020) Prospects for the use of information modeling technology in the development of construction project organization. *Scientific Bulletin of Construction*, (100), 132-137. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2020-100-2-132-137> (in Ukrainian).
10. Pereginets, I., Smirnov, Yu. (2025). Digital transformation of construction production of real estate objects based on information modelling. *Modern problems of architecture and urban planning*, Issue 71. Pp. 130-139. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.130-139> (in Ukrainian).
11. Pochynok, N., Lupiichuk, A. (2024). Building information modeling: financial and accounting aspect. *World of Finance*, 2(79), 99-115. <https://doi.org/10.35774/sf2024.02.099> (in Ukrainian).
12. Trach, R. (2017). Information modelling in construction (BIM): essence, stages of formation and prospects for development. *Global and national economic issues*, Issue 16. Pp. 490-495. <http://global-national.in.ua/archive/16-2017/99.pdf> (in Ukrainian).
13. Chertkov, O.Y., Tsehelný, V., Yermolovych, D. (2019). Competence – the basis for successful implementation of BIM technology. *Construction Production*, No. 67. Pp. 61-65. <https://doi.org/10.36750/25242555.67.6165> (in Ukrainian).
14. Shebek, M., Dubynka, O., Petrenko, D., Oryshchenko, V., Tugay, A. (2019). Optimisation of the timing and cost of investment and construction projects by detailing the components of the life cycle of objects using information modelling. *Ways to improve construction efficiency in the context of market relations formation*, Issue 41, technical. P. 54-62. <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.41.54-62> (in Ukrainian).
15. Ghannadpour, A.R. Hoseini, S. Noori, M. Yazdani (2019). Analyzing the influence of building information modeling (BIM) on construction project management areas of knowledge: using a hybrid FANP-FVIKOR approach. *Int. J. Indus. Eng. Prod. Res.* 30 (1), pp. 57-92. <https://doi.org/10.22068/ijiepr.30.1.57>.

16. Taige Wang, Han-Mei Chen (2023). Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle. *Automation in Construction*, Volume 150, June 2023. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104832>.
17. Report Impression European Contractor Monitor H2-2024. Digitalisation and BIM. <https://www.usp-research.com/wp-content/uploads/2025/02/Report-Impression-Contractor-Monitor-H2-2024.pdf>.
18. Future of Jobs Report 2025: Insight report. World Economic Forum. January 2025. https://reports.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_Report_2025.pdf.

Література

1. Андрухов, В. М., Потеха, А. С., Басистий, В. О. (2024). Комплексна оцінка доцільності використання BIM технологій для будівельного проекту. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, том 36, № 1. С. 161-165. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-161-165>.
2. Войтович, В.А. (2025). Вплив BIM-технологій на ефективність управління будівництвом. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, випуск 71. С. 646-657. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.646-657>.
3. Гудима, Л.О. (2014). BIM-технології в будівництві: сучасні виклики для України. *Бізнесінформ*, № 2. С. 97-104. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-2-97-104>.
4. Доненко, В. І., Іщенко, О. Л., Вакулук, Я. Є. (2019). BIM-технології як метод оптимізації використання ресурсів в будівельній галузі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. Київ: КНУБА, вип. 41. С.141-147. <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.41.141-147>.
5. Київська, К., Лузіна, Ю. (2021). Перспективи впровадження BIM-технологій у вітчизняній будівельній галузі. *Управління розвитком складних систем*. Київ: КНУБА, вип. 46. С. 63-69. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.46.63-69>.
6. Кулік, М. В., Куліш, С. О., Іщенко, С. С. (2020). Впровадження новітніх цифровізованих програмних комплексів на базі BIM-технологій у будівництві України. *Науковий вісник будівництва*. Серія «Будівництво», № 2. С. 301-306. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/360/353>.
7. Левченко, О. В., Михайленко, А. В. (2022). BIM-технології в закладах вищої освіти рівня підготовки бакалавр та магістр. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, вип. 62. С. 152-170. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.62.152-170>.
8. Левченко, О., Михайленко, А. (2021). Аспекти підготовки BIM-менеджерів. *Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування*. Київ: КНУБА, вип. 59. С. 118-131. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.59.118-131>.
9. Мудрий, І.Б. (2020). Перспективи використання технології інформаційного моделювання при розробці проектів організації будівництва. *Науковий вісник будівництва*. Харків, вип. 100(2). С. 132-137. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2020-100-2-132-137>.
10. Перегінець, І.І., Смірнов, Ю.О. (2025). Цифрова трансформація будівельного виробництва об'єктів нерухомості на основі інформаційного моделювання. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, випуск 71. С. 130-139. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.130-139>.

11. Починок, Н.В., Лупійчук, А.І. (2024). Інформаційне моделювання будівництва: фінансово-обліковий аспект. *Світ фінансів*, №2 (79). С. 99-115. <https://doi.org/10.35774/sf2024.02.099>.
12. Трач, Р.В. (2017). Інформаційне моделювання в будівництві (BIM): сутність, етапи становлення та перспективи розвитку. *Глобальні та національні проблеми економіки*, випуск 16. С. 490-495. <http://global-national.in.ua/archive/16-2017/99.pdf>.
13. Чертков, О.Ю., Цегельний, В.О., Єрмолович, Д.С. (2019). Компетенція – основа успішного впровадження BIM-технології. *Будівельне виробництво*, №67. С. 61-65. <https://doi.org/10.36750/25242555.67.6165>.
14. Шебек, М.О., Дубинка, О.В., Петренко, Д.В., Орищенко, В.В., Тугай, А.О. (2019). Оптимізація строків і вартості інвестиційно-будівельних проєктів шляхом деталізації складових життєвого циклу об'єктів з використанням інформаційного моделювання. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, вип.41, технічний. С. 54-62. <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2019.41.54-62>.
15. Ghannadpour, A.R. Hoseini, S. Noori, M. Yazdani (2019). Analyzing the influence of building information modeling (BIM) on construction project management areas of knowledge: using a hybrid FANP-FVIKOR approach. *Int. J. Indus. Eng. Prod. Res.* 30 (1), pp. 57-92. <https://doi.org/10.22068/ijiepr.30.1.57>.
16. Taige Wang, Han-Mei Chen (2023). Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle. *Automation in Construction*, Volume 150, June 2023. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104832>.
17. Report Impression European Contractor Monitor H2-2024. Digitalisation and BIM. <https://www.usp-research.com/wp-content/uploads/2025/02/Report-Impression-Contractor-Monitor-H2-2024.pdf>.
18. Future of Jobs Report 2025: Insight report. World Economic Forum. January 2025. https://reports.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_Report_2025.pdf.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.11.2025	Received in revised form 12.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

L. M. Melnyk*

D.Sc. in Economics, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8844-5490>

Department of Structural Mechanics

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ruska St., 56, Ternopil, Ukraine, 46025

V. P. Iasnii

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5768-5288>

Department of Structural Mechanics

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ruska St., 56, Ternopil, Ukraine, 46025

O. M. Meshcheryakova

Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1563-9870>

Department of Structural Mechanics

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ruska St., 56, Ternopil, Ukraine, 46025

*corresponding author, e-mail: liliana.mel0512@gmail.com

Competencies of the Future: The Role of BIM in the Training of Construction Professionals

How to Cite:

Melnik, L. M., Iasnii, V. P., Meshcheryakova, O. M. (2025). Competencies of the Future: The Role of BIM in the Training of Construction Professionals. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 219-234. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-18)

Abstract. The article presents the results of a study on the key Building Information Modeling (BIM) competencies required by modern construction professionals. An analysis of the interpretations of the concept of “Building Information Modeling” by domestic scholars is provided. The study notes that the contemporary concept of BIM encompasses multiple dimensions, which extend the functional capabilities of the information model beyond basic 3D modeling. In this context, the characteristics of various BIM dimensions are described. The application of BIM functions by European contractors in the construction industry in 2023 has been examined. The findings reveal that the full potential of BIM has not yet been realized, as integration with 4D (time scheduling), 5D (cost estimation), 6D (energy efficiency and sustainability), and 7D (lifecycle management) is not widely adopted by many contractors. It is emphasized that with the advancement of digital technologies and the growing demand for comprehensive construction project management, the BIM concept continues to expand. Alongside the dimensions already in use – from 3D to 7D – new levels of detail are emerging in practice, covering additional aspects of an asset’s lifecycle. In particular, 8D, 9D, and 10D BIM are highlighted, each of which further extends the possibilities of digital modeling in construction.

The article establishes that, in response to the increasing needs of the market, many companies are opening new positions directly related to BIM implementation, including BIM Coordinator, BIM Modeler, BIM Manager, BIM Analyst, and BIM Engineer. Within the identified BIM dimensions, key technical competencies for construction professionals are outlined, as well as non-technical (so-called “soft skills” and interdisciplinary abilities), such as managerial, communication, digital, ethical, and leadership skills. Collectively, these competencies ensure that professionals are capable of effectively delivering projects, coordinating team work, and implementing innovative solutions in the construction sector.

Keywords: competence, building information modelling, project design, management, specialists, project life cycle.

УДК 69.059.4

М.В. Нінічук

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6018-5615>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

С. В. Ротко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1860-7890>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Р.В. Пасічник

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-1269>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

І.О. Парфентьєва

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6116-4509>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Іванюк А.М.

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2314-4061>

Кафедра промислового, цивільного будівництва ім. С.М. Бабича

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33000

*автор-кореспондент, e-mail: svitlanarotko61@gmail.com

Технічне обстеження і визначення несучої здатності монолітних колон і шинних балок фундаментів картонноробної машини Fатра картонно-паперового цеху

Цитувати як:

Нінічук, М.В., Ротко, С.В., Пасічник, Р.В., Парфентьєва, І.О., Іванюк, А.М. (2025). Технічне обстеження і визначення несучої здатності монолітних колон і шинних балок фундаментів картонноробної машини картонно-паперового цеху. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 235-243. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-19](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-19)

© 2025, Нінічук М.В., Ротко С.В., Пасічник Р.В., Парфентьєва І.О., Іванюк А.М.

У статті представлено результати комплексного технічного обстеження монолітних залізобетонних колон і шинних балок фундаментів картонноробної машини Fатра, розташованих у прольотах 23–27 картонно-паперового цеху Луцької картонно-паперової фабрики. Метою дослідження було визначення фактичного технічного стану несучих елементів, їхньої несучої здатності та можливості подальшої експлуатації конструкцій за умов модернізації технологічної лінії та збільшення навантаження.

Обстеження виконано відповідно до вимог ДСТУ 9273:2024 із застосуванням неруйнівних методів контролю згідно з ДСТУ Б В.2.7-220:2009. У роботі подано результати інструментальних випробувань, зокрема визначення міцності бетону приладом Beton Pro CONDROL, перевірки армування за

допомогою приладу «Поиск-М», фіксації дефектів захисного шару та стану арматури. На підставі натурних даних виконано розрахунок несучої здатності конструкцій у ПК SCAD методом скінченних елементів.

Дослідження показало, що хоча монолітні колони перебувають у задовільному технічному стані та мають запас міцності до 30%, шинні балки містять значні дефекти: локальне руйнування захисного шару, корозію арматури та зниження розрахункової несучої здатності до 13,3 т/м при проєктному навантаженні 24,8 т/м. За результатами експертизи конструкції балки класифіковано як обмежено працездатні (категорія III), що потребують підсилення для забезпечення безпечної експлуатації та можливості подальшої модернізації виробничого обладнання.

Робота містить висновки щодо технічного стану конструкцій, рекомендації з необхідності підсилення фундаментної рами та пропозиції щодо подальшої реконструкції згідно з чинними нормативами будівельної галузі.

Ключові слова: технічне обстеження, неруйнівний контроль, залізобетонна колона, шинна балка, навантаження, моделювання, метод скінченних елементів, несуча здатність, експертиза

Ключові слова: технічна оцінка, неруйнівний контроль, залізобетонна колона, балка, навантаження, моделювання, метод скінченних елементів, несуча здатність

Вступ

Згідно з договором між науково-дослідною будівельною лабораторією при кафедрі будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету та ТзОВ ЛКПФ було проведено обстеження та зроблено оцінку технічного стану елементів надземної частини фундаментів картонноробної машини Gampra в осях 23-27 картонно-паперового цеху.

У зв'язку з планами керівництва луцької картонно-паперової фабрики провести модернізацію виробництва замовником було поставлено задачу визначення несучої здатності елементів фундаментів.

Мета дослідження – визначення несучої здатності конструктивних елементів для встановлення можливості подальшої експлуатації цеху за модернізації об'єкта та додаткового навантаження від обладнання.

Завдання дослідження: проведення технічного обстеження конструктивних елементів фундаментів картонноробної машини, фіксація наявних дефектів і пошкоджень, інструментальне визначення фізико-механічних характеристик матеріалу (бетону) несучих елементів, визначення несучої здатності конструктивних елементів.

Методика дослідження. Методика проведення обстеження ґрунтується на основі ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану»

[1]. Випробування фізико-механічних властивостей будівельних конструкцій виконували неруйнівним методом згідно з ДСТУ Б В.2.7-220:2009 «Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю» [3].

Перед проведенням обстеження було опрацьовано надану замовником архівну проєктну документацію, розроблену ДПІ «Діпробудматеріали» у 1967р. – робочі креслення марки КЖ конструкцій надземної та підземної частин фундаментів під картонноробну машину.

Об'єкт обстеження – фундаменти з монолітного залізобетону під картонноробну машину, що виконані у вигляді плоскої багатопрілітної рами в осях 23-27 (рис. 1) прольотами 6 м, висотою 4,1 м від відмітки підлоги. Січення колон запроєктовано 700 х 1000 мм, шинна балка – січенням 900 х 700 мм. Монолітні колони опираються на монолітну залізобетонну плиту товщиною 400 мм і з'єднані по низу в фундаменті по поздовжніх і поперечних осях балками висотою 1000 мм. Відмітка низу фундаментної плити становить -2,0 м. Просторова жорсткість забезпечена заробленням колон по низу та по верху в монолітні залізобетонні балки.

Експертизу залізобетонних елементів рами виконували за допомогою програмного забезпечення – ПК SCAD методом скінченних елементів.

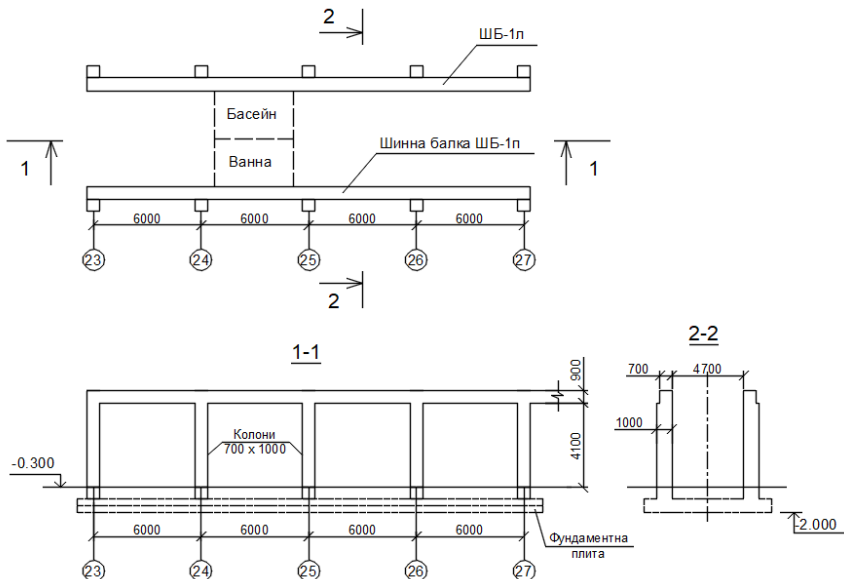


Рис. 1. Схема обстежуваної ділянки

Результати та обговорення

За результатами обмірів січення колон відповідають розмірам 700 х

1000 мм. Міцність бетону конструкцій рами визначалась методом неруйнівного контролю за допомогою приладу Beton Pro CONDROL і становить M150 (C8/10). Перевірка армування виконувалась неруйнівним методом за допомогою приладу Поиск-М. За результатами випробувань встановлено, що армування виконано стержнями Ø25 мм. Товщина захисного шару в межах 30-40 мм. Тріщин та оголення арматури колон не виявлено. Технічний стан колон – задовільний (категорія II).

Шинна балка ШБ-1п є ригелем багатопролітної монолітної залізобетонної рами загальною довжиною 42 м. За результатами обмірів розміри січення балки відповідають проєктним – 700 х 900 мм. Армування балки стержнями Ø25 мм встановлено розкриттям захисного шару бетону з додатковою перевіркою за допомогою приладу Поиск-М. Обстеженням встановлено, що в досліджуваних місцях захисний шар бетону шинної балки отримав значні пошкодження у вигляді вилущування і відшарування, що призвело до корозії арматури. Ймовірною причиною є несприятливі умови експлуатації упродовж тривалого часу (див. рис. 2). Технічний стан шинної балки – обмежено робочий (категорія III).



Рис. 2. Фотофіксації з обстеження шинної балки

Для статичного розрахунку та експертизи залізобетонних елементів монолітної рами – шинної балки ШБ-1п і колон – використали ПК SCAD, який реалізує скінченно-елементне моделювання розрахункових схем, вибір невідгінних сполучень зусиль, підбір арматури та експертизу залізобетонних конструкцій. Розраховували нерозрізну раму в осях 23-30.

Розрахунок вели за ДБН В.2.6-98:2009 на три завантаження (згідно з проектною документацією, арк. КЖ-101):

- 1 – технологічне навантаження – $q=16,5$ т/пм;
 - 2 – корисне навантаження на перекриття на відм. +4.800 $p=6,57$ т/пм;
 - 3 – власна вага елементів рами
- та на дві комбінації навантажень:
- 1 – $L1+L2$;
 - 2 – $L1+L2+L3$.

Саме за другою комбінацією виконували експертизу усіх елементів, оскільки діючі навантаження мають постійну чи довготривалу дію.

За наявною робочою документацією при зведенні фундаментів для елементів рами було використано бетон М200 (С12/15) та арматуру діаметрами 25 і 22 мм класу А-ІІ (А300С).

Згідно з проведеними обстеженнями внаслідок впливу несприятливих факторів за час тривалої експлуатації будівлі (55 років) бетон несучих конструкцій для експертизи було прийнято М150 (С8/10).

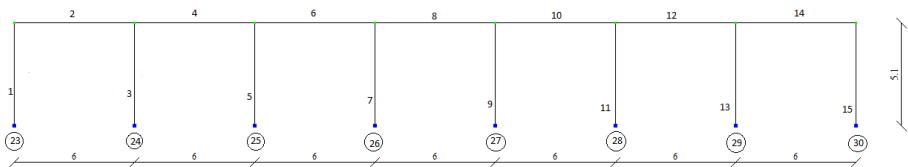


Рис. 3. Розрахункова схема рами з нумерацією елементів

Висновки

За результатами проведеного технічного обстеження залізобетонних монолітних колон і шинних балок фундаменту сіткової частини картонноробної машини Fampra картонно-паперового цеху в осях 23-30 встановлено таке.

Фундамент під картонноробну машину виконаний у вигляді монолітної залізобетонної рами. Згідно з проведеним дослідженням приладом неруйнівного контролю Beton Pro CONDROL міцність на стиск бетону рами відповідає М150 (С8/10). Армвання конструкцій колон і балок встановлювалось вибірково методом розкриття, крім того, перевірка наявності стержнів виконувалась приладом Поиск-М. На деяких ділянках зафіксовано карбонізацію бетону. Порушення захисного шару призвело до корозії арматури.

За час тривалої експлуатації конструкції отримали низку дефектів і пошкоджень. Шинні балки ШБ-1л, ШБ-1п знаходяться у критичному стані за рахунок зменшення міцності бетону та корозії арматури та потребують

ремонту. Технічний стан конструкцій балок – обмежено працездатний, непридатний до нормальної експлуатації (категорія III).

Захисний шар бетону колон задовільний. Тріщин, сколів немає. За результатами проведеного розрахунку визначено, що колони фундаментної рами працюють зі значним запасом міцності – до 30%. Технічний стан колон – задовільний (категорія II).

Проведений розрахунок несучої здатності обстежених конструкцій рами фундаментів за першою групою граничних станів згідно з чинними нормами. Експертизою ЗБЕ встановлено, що на теперішній час внаслідок зниження міцності бетону через довготривалу експлуатацію у неналежних умовах за проєктних навантажень монолітна рама потребує підсилення усіх опорних перерізів нерозрізної семипролітної шинної балки ШБ-1п для забезпечення подальшої безпечної роботи. Несуча здатність шинної балки (за умови виконання усіх перевірок за ДБН) становить 13,3 т/м. Будь-яке збільшення навантаження понад визначене є неприйнятним.

Для подальшої безпечної експлуатації шинних балок необхідно виконати їх підсилення на опорних ділянках композитними або сталевими елементами за розробленим проєктом, відновлення захисного шару та антикорозійний захист арматури та встановити постійний моніторинг технічного стану. Для безпечної та надійної експлуатації даного цеху в майбутньому доцільно розробити проєкт реконструкції відповідно до чинних нормативів.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. DSTU 9273:2024. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichnyi opir ta stiiikist.
2. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud.
3. DSTU B V.2.7-220:2009. Budivelni materialy. Betony. Vyznachennia mitsnosti mekhanichnymy metodamy neruinivnoho kontroliu.
4. DSTU B V.2.7-224:2009. Betony. Pravyla kontroliu mitsnosti.
5. DSTU B V.2.7-226:2009 Budivelni materialy. Betony. Ultrazvukovy metod vyznachennia mitsnosti.
6. Rotko S.V., Uzhehova O.A., Pasichnyk R.V., Hontar V.O. (2022). Tekhnichne obstezhennia konstrukttsii tekhpiddillia adminbudivli u m. Lutsku. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi, 17, 120-130. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7\(17\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7(17)-16)
7. Rotko S.V., Parfentieva I.O., Pasichnyk R.V., Uzhehova O.A., Chapiuk O.S. (2023). Perevirka mitsnosti stin ta osnov ukryttia dlia rozrobky planu rekonstrukttsii holovnoho korpusu Volynskoi oblasnoi dytiachoi klinichnoi likarni. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi, 19, 162-170. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9\(19\)-19](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-19)
9. Naukovo-doslidna budivelna laboratoriiia. <https://lntu.edu.ua/uk/naukovo-doslidna-budivelna-laboratoriya>
10. Intehrovana systema mitsnisnoho analizu ta proiektuvannia konstrukttsii Structure CAD Office. URL: <https://scadsoft.com/ua/>
11. SCAD – obchysliuvalnyi kompleks dlia mitsnisnoho analizu konstrukttsii metodom skinchennykh elementiv (MSE). URL: <https://scadsoft.com/ua/products/scad/>

Література

1. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість.
2. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.
3. ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю.
4. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Бетони. Правила контролю міцності.
5. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності.
6. Ротко С.В., Ужегова О.А., Пасічник Р.В., Гонтар В.О. (2022). Технічне обстеження конструкцій техпідпілля адмінбудівлі у м. Луцьку. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 17, 120-130. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7\(17\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7(17)-16)

7.Ротко С.В., Парфентьева І.О., Пасічник Р.В., Ужегова О.А., Чапюк О.С. (2023). Перевірка міцності стін та основ укриття для розробки плану реконструкції головного корпусу Волинської обласної дитячої клінічної лікарні. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 19, 162-170. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9\(19\)-19](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-19)

9.Науково-дослідна будівельна лабораторія. <https://lntu.edu.ua/uk/naukovo-doslidna-budivelna-laboratoriya>

10.Інтегрована система міцнісного аналізу та проектування конструкцій Structure CAD Office. <https://scadsoft.com/ua/>

11. SCAD – обчислювальний комплекс для міцнісного аналізу конструкцій методом скінчених елементів (MCE). <https://scadsoft.com/ua/products/scad/>.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.11.2025	Received in revised form 12.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

M.V. Ninichuk

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6018-5615>
Department of Architecture and Design
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

S. V. Rotko*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1860-7890>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

R.V. Pasichnyk

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-1269>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

I.O. Parfentjeva

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6116-4509>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

Ivaniuk A.M.

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2314-4061>
Department of Industrial and Civil Engineering named after E.M. Babych
National University of Water and Environmental Engineering, Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33000

*corresponding author, e-mail: svitlanarotko61@gmail.com

Technical inspection and determination of the bearing capacity of monolithic columns and busbar beams of the foundations of the Fampa cardboard machine of the cardboard and paper shop

How to Cite:

Ninichuk, M.V., Rotko, S.V., Pasichnyk, R.V., Parfenteva, I.O., Ivaniuk, A.M. (2025). Technical inspection and determination of the bearing capacity of monolithic columns and busbar beams of the foundations of the cardboard-making machine of the cardboard-paper shop. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 235-243. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-19](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-19)

Abstract. The article presents the results of a comprehensive technical assessment of monolithic reinforced concrete columns and strip (tire) beams forming the foundation system of the Fampa cardboard machine located in spans 23–27 of the cardboard and paper shop at the Lutsk Cardboard and Paper Mill. The aim of the study was to determine the actual technical condition, residual load-bearing capacity, and feasibility of further safe operation of the structural elements in the context of technological modernization and potential increases in operational loads.

The inspection was performed in compliance with DSTU 9273:2024 and using nondestructive testing methods in accordance with DSTU B V.2.7-220:2009. The methodology included in-situ concrete strength evaluation with a Beton Pro CONDROL device, reinforcement mapping using “Poisk-M,” assessment of protective layer condition, and detection of corrosion-related defects. Based on the collected field data, numerical analysis of load-bearing capacity was carried out in SCAD++ using the finite element method.

The results show that the monolithic reinforced concrete columns remain in satisfactory condition with an estimated reserve strength of up to 30%. In contrast, the strip beams exhibit significant deterioration: partial loss of concrete cover, advanced reinforcement corrosion, and a reduced load-bearing capacity of 13.3 t/m compared with the design load of 24.8 t/m. According to the regulatory classification of structural performance, the beams were rated as limited-serviceable (Category III), indicating the need for strengthening to ensure safe operation and accommodate further modernization of production equipment.

The study concludes with recommendations for structural strengthening of the foundation frame, enhancement of durability, and the need for staged reconstruction measures in accordance with current Ukrainian building regulations.

Keywords: technical assessment, nondestructive testing, reinforced concrete column, beam, loading, modeling, finite elements method, bearing capacity, expertise.

УДК 69.059.4

М. В. Нінічук*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6018-5615>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

С. В. Ротко

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1860-7890>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Л. О. Талах

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4643-5582>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Д.Я. Кислюк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5794-8466>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О. М. Крантовська

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6182-7691>

Кафедра опору матеріалів

Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029

*автор-кореспондент, e-mail: matgen@ukr.net

Визначення несучої здатності та розробка заходів з підсилення конструкцій залізобетонних балок картонноробної машини із застосуванням методів нелінійного розрахунку

Цитувати як:

Нінічук, М.В., Ротко, С.В., Талах Л.О., Кислюк Д.Я., Крантовська О.М. (2025). Визначення несучої здатності та розробка заходів з підсилення конструкцій залізобетонних балок картонноробної машини із застосуванням методів нелінійного розрахунку. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 244-254. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-20](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-20)

© 2025, Нінічук М.В., Ротко С.В., Талах Л.О., Кислюк Д.Я., Крантовська О.М.

У статті наведено результати аналізу ситуації, що склалася у зв'язку з необхідністю обстеження залізобетонних фундаментних конструкцій картонноробної машини на Луцькій картонно-паперовій фабриці. Ця необхідність зумовлена модернізацією виробництва та плановим технічним переоснащенням виробничої лінії зі збільшенням навантаження на конструкції, що вимагає ретельного аналізу несучої здатності існуючих конструкцій та розробки заходів із підсилення.

У рамках дослідження, у програмному комплексі ЛІРА-САПР було детально змодельовано роботу основної несучої залізобетонної балки за допомогою методу скінченних елементів із застосуванням нелінійного розрахунку. Дана модель

виконувалась просторовою, із врахуванням реальних характеристик деформування матеріалів, що були визначені в результаті попереднього обстеження конструкцій. Цей розрахунок дозволив визначити максимально точні значення зусиль і переміщень в елементах балки. Результати підтвердили попередні припущення про вичерпання несучої здатності опорних балок картонноробної машини при проведенні технічного переоснащення. Це відповідно підтвердило необхідність розробки та перевірки ефективних заходів для підсилення несучої здатності конструкції.

Такі рішення були запропоновані в цій роботі у вигляді сталевий опорної рамної конструкції з підкосами, що спирається на фундаменти. Основною задачею рамки підсилення було зменшення довжини чистого прольоту конструкції та величини поперечних зусиль у балці. Цю схему було додано до просторової розрахункової моделі балки та перевірено нелінійним розрахунком. Результати розрахунку підтвердили ефективність цієї схеми, оскільки продемонстрували значне зменшення дотичних і нормальних напружень в елементах балки (на 52-54%), а також зменшення прогинів на 70%.

Ключові слова: несуча здатність, залізобетонна балка, нелінійний розрахунок, підсилення, ПК ЛІРА-САПР, метод скінченних елементів.

Вступ

Досить часто при реконструкції будівель та споруд постає завдання збільшення несучої здатності існуючих залізобетонних конструкцій. Причиною цього бувають як дефекти чи старіння, так і збільшення експлуатаційного навантаження у результаті зміни функціонального призначення, конструктивної схеми чи технічного переоснащення споруди. Для ефективного виконання таких завдань світовою наукою накопичено значний теоретичний та практичний досвід, із технічних рішень, схем і проектів підсилення. Однак вибір необхідної схеми, прийняття правильного, найбільш ефективного і раціонального рішення в кожній конкретній задачі є завданням непростим і потребує ґрунтового аналізу ситуації і точних розрахунків.

У статті виконується аналіз ситуації, що виникла у зв'язку із необхідністю обстеження залізобетонних конструкцій фундаментів картонноробної машини Луцької картонно-паперової фабрики. Ця необхідність зумовлена запланованим технічним переоснащенням виробництва та збільшенням навантаження на конструкції, що потребує ґрунтового аналізу та розробки заходів із підсилення [1, 2].

Мета дослідження – перевірка несучої здатності та розробка ефективної схеми підсилення залізобетонних конструкцій картонноробної машини.

Завдання дослідження: перевірка несучої здатності залізобетонних балок картонноробної машини із врахуванням додаткового навантаження, моделювання роботи конструкцій методом скінченних елементів задля встановлення характеристик їх напружено-деформованого стану,

У програмі була змодельована частина з трьох прольотів балки та колони у осях 24-27. Об'єм балки та колон задавався у вигляді 3D елементів – кубів розміром 10х10х10см (рис. 2). Тип елемента для бетону був вибраний №231 – фізично нелінійний паралелепіпед, із нелінійною жорсткістю, заданою у вигляді стандартної діаграми деформування для бетону В12,5 [6, 7]. Також була змодельована, згідно проектної документації, робоча арматура балки, яка задавалася по вузлах 3D елементів у вигляді окремих фізично нелінійних стержнів.

Навантаження на балку задавали у вигляді масиву одиничних сил, які прикладалися до кожного вузла верхньої поверхні балки. Сумарна величина цих сил була еквівалентна розрахунковому рівномірно розподіленому навантаженню.

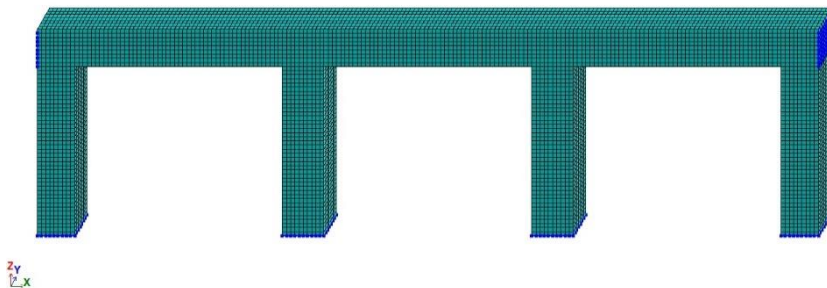


Рис. 2. Розрахункова модель балки в ПК ЛІР-САПР

Результати та обговорення

У результаті нелінійного розрахунку були отримані значення переміщень вузлів елементів ΔZ , ізополі значень N_x , що відповідають нормальним напруженням у бетоні σ_{cx} та дотичних напружень τ_{xy} об'ємних елементів бетону. Також були отримані величини поздовжньої сили в арматурі N_s , які дозволяють визначити фактичне напруження в арматурі.

Нелінійний розрахунок підтвердив, що при додатковому навантаженні шинної балки в елементах конструкції виникають зусилля, що досягають границі міцності бетону. Зокрема, в припорних ділянках спостерігається досягнення бетоном нормальних напружень стиску $\sigma_{cx} = 9,75 \text{ МПа}$ та дотичних $\tau_{xy} = 4,7 \text{ МПа}$ (рис. 3). Максимальні прогини в прольоті становили $\Delta Z = 6,57 \text{ мм}$.

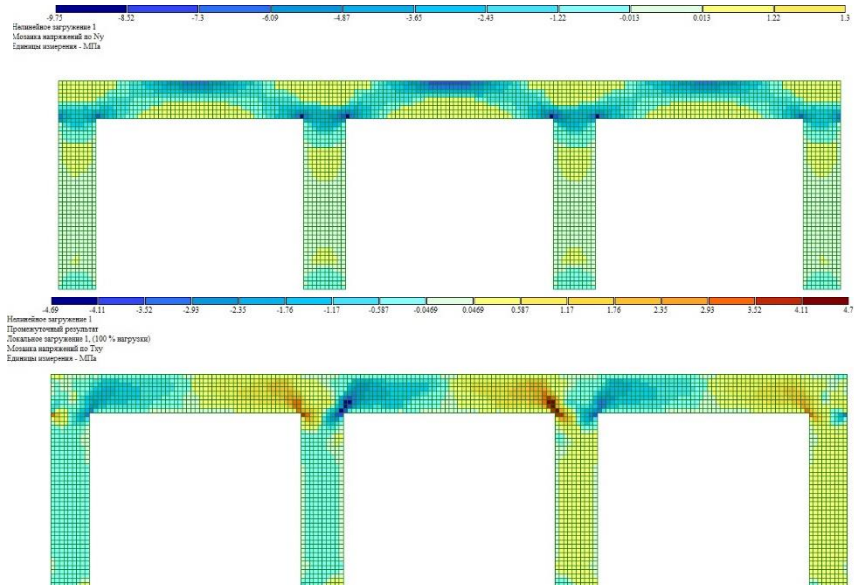


Рис. 3. – Ізополя нормальних (зверху) та дотичних (знизу) напружень

Додаткова перевірка нелінійним розрахунком шинної балки на додаткове навантаження підтвердила її недостатню несучу здатність. Тому, враховуючи рекомендації звіту з техобстеження даних конструкцій науково-дослідною будівельною лабораторією при кафедрі БЦі ЛНТУ, було вирішено розробити схему підсилення прольоту між осями 25-26 у вигляді металевої рами з підкосами.

При виборі конкретної схеми підсилення керувалися настановами ДСТУ [8], а також особливостями конструктивної та технологічної схеми фундаментів картонноробної машини. Важливим нюансом було те, що між колонами та балками знаходиться залізобетонний басейн, який унеможливорює влаштування обойм підсилення цих конструкцій. Тому єдиним раціональним варіантом було влаштування П – подібної металевої рами із металопрокату, яка б підпирала знизу балку, збільшувала її жорсткість і несучу здатність, а також передавала частково навантаження прямо на фундаменти (рис 4.).

Влаштування підкосів зменшить проліт балки, що, відповідно, призведе до зменшення згинальних моментів і поперечних сил.

Профілі елементів рами підбирали попереднім приблизним розрахунком. Так, для горизонтальної частини рами – підпору балки був вибраний профіль із двох спарених двотаврів №27, які з'єднувалися зверху і знизу пластинами. Для вертикальних стійок та підкосів були підібрані

стержневих елементів. Елементом задавались підібрані металеві профілі та відповідні характеристики жорсткості [9, 10].

За результатами повторного нелінійного розрахунку було встановлено, що застосування даної схеми підсилення призвело до значного зменшення зусиль і деформацій в елементах балки. Так, максимальні прогини в прольоті зменшились до $\Delta Z = 1,95$ мм, що менше на 70%. Максимальні нормальні напруження σ_{cx} у підсилюваному прольоті зменшились на 54%, а максимальні дотичні напруження τ_{xy} – на 52% (рис. 6).

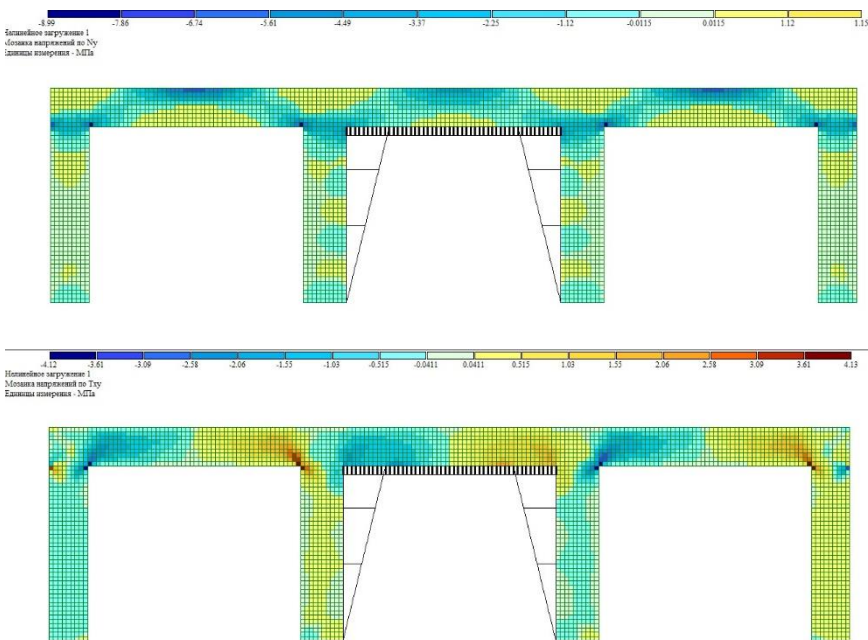


Рис. 6. Ізополя нормальних (зверху) та дотичних (знизу) напружень у балці з підсиленням

Також виконувався аналіз зусиль і переміщень у самих елементах рами підсилення. Зокрема, для величини поздовжньої сили було визначено, що її значення у найбільш навантажених елементах становили не більше, як 50% від граничних значень, по міцності і стійкості, що доводить правильність вибору конструкції підсилення балок.

Висновки

У процесі виконання даного дослідження був проведений детальний нелінійний аналіз напружено-деформованого стану обстежуваних балкових

конструкцій при дії додаткового навантаження за допомогою методу скінчених елементів. Даний розрахунок дозволив встановити значення зусиль в елементах балки, що підтвердило попередні припущення про втрату несучої здатності шинних балок картонноробної машини при технічному переоснащенні виробництва. Також це підтвердило необхідність розробки ефективних заходів підсилення конструкції. Такі рішення були запропоновані в роботі у вигляді конструкції металевої підпорної рами із підкосами та обпиранням на фундаменти. Дана схема була додана до розрахункової 3D моделі балки та перевірена нелінійним розрахунком. Результати розрахунку підтвердили ефективність застосування схеми, так як показали значне зменшення дотичних і нормальних напружень в елементах балки (на 52-54%) а також зменшення прогинів на 70%.

Впровадження даної схеми підсилення у виробництво потребує ще додаткових уточнюючих розрахунків по окремих елементах та вузлах рами підсилення, але загалом можна стверджувати, що застосування нелінійного розрахунку дозволяє детально аналізувати роботу залізобетонних конструкцій та проектувати ефективні способи їх підсилення.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. DSTU 9273:2024. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichniy opir ta stiikist.
2. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyzy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktivnoi bezpeky budivel i sporud.
3. DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. Zi Zminoiu № 1 [Structures of buildings and facilities. Concrete and reinforced concrete structures. Basic principles. With Amendment No. 1].

4. DSTU B V.2.6.-156:2010. Betonni ta zalizobetonni konstruktсии z vazhkoho betonu. Pravyly proektuvannia [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules]. [Chynnyi vid 2011-06-01]. Kyiv, 2011. 123 p.
5. Babych, Ye. M., Babych, V. Ye., & Savitskyi, V. V. (2018). Rozrakhunok nerozriznykh zalizobetonnykh balok iz vykorystanniam deformatsiinoi modeli: rekomendatsii [Calculation of continuous reinforced concrete beams using a deformation model: recommendations]. Rivne: NUVHP. 34 p.
6. Babych Y. M., Andriichuk O. V., Kysliuk D. Y., Ninichuk M.V. Experimental Research of Strength Characteristics of Continuous Reinforced Concrete Beams with Combined Reinforcement, and Modelling Their Work by the Finite Element Method. Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 100. P. 18–25. DOI: 10.1007/978-3-030-57340-9_3 (Scopus).
7. Krantovska O, et al. (2023). Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. TRANSBUD - 2021. AIP Conf. Proc., 2684(1), 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>.
8. DSTU B V.3.1-2:2016. Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnnykh konstruktсии ta osnov budivel i sporud [Repair and strengthening of load-bearing and enclosing building structures and foundations of buildings and facilities].
9. Barabash, M. S., Kozlov, S. V., & Medvedenko, D. V. (2012). Kompiuterni tekhnolohii proektuvannia metalevykh konstruktсии: Navchalnyi posibnyk [Computer technologies for the design of metal structures: A textbook]. Kyiv: NAU. 572 p.
10. Software package for automated design and analysis of building structures LIRA-SAPR. <https://www.liraland.ua/>

Література

1. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість.
2. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.
3. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1
4. ДСТУ Б В.2.6.-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-06-01]. Київ, 2011. – с. 123. (Державний стандарт України).
5. Бабич Є. М., Бабич В. Є., Савицький В. В. Розрахунок нерозрізних залізобетонних балок із використанням деформаційної моделі: рекомендації. Рівне : НУВГП, 2018. 34 с.
6. Babych Y. M., Andriichuk O. V., Kysliuk D. Y., Ninichuk M.V. Experimental Research of Strength Characteristics of Continuous Reinforced Concrete Beams with Combined Reinforcement, and Modelling Their Work by the Finite Element Method.

Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 100. P. 18–25. DOI: 10.1007/978-3-030-57340-9_3 (Scopus).

7. Krantovska O, et al. (2023). Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *TRANSBUD - 2021. AIP Conf. Proc.*, 2684(1), 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>.

8. ДСТУ Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд.

9. Барабаш М.С. Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій: Навчальний посібник /М.С. Барабаш, С.В. Козлов, Д.В. Медведенко.. – К.: НАУ, 2012. – 572 с.

10. Програмний комплекс для автоматизованого проектування і розрахунку будівельних конструкцій ЛІРА-САПР. <https://www.liraland.ua/>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.11.2025	Received in revised form 15.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

M. V. Ninichuk*

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6018-5615>

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

S. V. Rotko

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1860-7890>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

L. O. Talakh

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4643-5582>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

D. Ya. Kysliuk

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5794-8466>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

O. M. Krantovska

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6182-7691>

Department Strength of Materials

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona st., 4, Odesa, Ukraine, 65029

*Corresponding author, e-mail: matgen@ukr.net

Determination of Load-Bearing Capacity and Development of Strengthening Measures for Reinforced Concrete Beams of a Paperboard Machine Using Non-Linear Analysis Methods

Cite as:

Ninichuk, M.V., Rotko, S.V., Talakh L.O., Kysliuk D.Ya., Krantovska O.M (2025). Determination of Load-Bearing Capacity and Development of Strengthening Measures for Reinforced Concrete Beams of a Paperboard Machine Using Non-Linear Analysis Methods. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 244-254. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-20](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-20)

Abstract. The article presents the results of an analysis regarding the situation that arose due to the need to inspect the reinforced concrete foundation structures of a paperboard machine at the Lutsk Cardboard and Paper Mill. This necessity is driven by production modernization, the planned technical re-equipment of the production line, and the increased load on the structures, which requires a thorough analysis of the load-bearing capacity of the existing structures and the development of strengthening measures.

As part of the study, the behavior of the main load-bearing reinforced concrete beam was modeled in detail using the LIRA-CAD software package, utilizing the finite element method (FEM) with non-linear analysis. A 3D spatial model was created, taking into account the actual material deformation characteristics determined during the preliminary structural inspection. This calculation allowed for the determination of highly accurate values for internal forces and displacements within the beam elements. The results confirmed preliminary assumptions regarding the exhaustion of the load-bearing capacity of the paperboard machine's support beams during the technical re-equipment. Consequently, this confirmed the need to develop and verify effective measures to strengthen the structure's load-bearing capacity.

Such solutions were proposed in this work in the form of a steel support frame structure with struts (braces), resting on the foundations. The primary objective of the strengthening frame was to reduce the structure's clear span length and the magnitude of shear forces in the beam. This scheme was incorporated into the 3D analytical beam model and verified through non-linear analysis. The calculation results confirmed the effectiveness of this scheme, demonstrating a significant reduction in shear and normal stresses in the beam elements (by 52-54%), as well as a 70% reduction in deflections.

Keywords: Loadbearing capacity, reinforced concrete beam, non-linear analysis, strengthening, LIRA-CAD, finite element method.

УДК 691.32

Ю. В. Олевич*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5919-9945>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
Івано-Франківськ, Україна, 76019

А. В. Андрусяк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2099-9045>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
Івано-Франківськ, Україна, 76019

О. В. Козак

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0025-6554>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
Івано-Франківськ, Україна, 76019

*автор-кореспондент, e-mail: yurii.olevych@nung.edu.ua

Високорухливі бетонні суміші для влаштування буронабивних паль

Цитувати як:

Олевич, Ю. В., Андрусяк, А. В., Козак, О. В. (2025). Високорухливі бетонні суміші для влаштування буронабивних паль. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 255-265. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-21)

© 2025, Олевич Ю. В., Андрусяк А. В., Козак О. В.

У статті досліджено особливості формування високорухливих бетонних сумішей, призначених для застосування в технології буронабивних паль CFA, яка передбачає безперервне бетонування через порожнистий шнек із подачею суміші під тиском. Наступним кроком є заглиблення арматурного каркасу у свіжоукладений бетон. Така технологія активно використовується під час зведення об'єктів у складних інженерно-геологічних умовах, гірській місцевості та у щільній міській забудові, де важливими є мінімальний рівень шуму, відсутність вібрацій та стабільність параметрів бетонування. Високі вимоги до однорідності та реологічної стійкості бетонної суміші зумовлюють необхідність ретельного підбору модифікуючих добавок, здатних забезпечити збереження рухливості та запобігти розшируванню протягом усього технологічного циклу. У роботі наведено аналіз впливу сучасних суперпластифікаторів різних виробників на водопотребу, рухливість, живучість та міцність бетонного каменю. Встановлено, що застосування модифікаторів дає можливість отримати стабільні високорухливі суміші, придатні для подачі під тиском, а також позитивно впливає на процес гідратації цементу, що забезпечує більш рівномірний набір міцності. Особливу увагу приділено здатності добавок підтримувати необхідний рівень рухливості протягом часу, достатнього для транспортування та виконання бетонування в ускладнених умовах. Експериментально підтверджено, що правильно підібрані

суперпластифікатори дозволяють оптимізувати водоцементне відношення, покращити реологічні властивості та забезпечити формування бетону з підвищеними фізико-механічними характеристиками у проектному віці. Отримані результати можуть бути використані під час розроблення складів бетонів для технології CFA та є корисними для інженерної практики, пов'язаної з влаштуванням пальових фундаментів у складних умовах сучасного будівництва.

Ключові слова: буронабивні палі, технологія CFA, високорухливі бетонні суміші, суперпластифікатори, водоредукуючий ефект, осадка конуса, міцність бетону.

Вступ

Сучасне будівництво характеризується інтенсивним розвитком територій, зростанням поверховості будівель та ускладненням інженерно-геологічних умов. За таких умов особливої уваги потребує надійність фундаментів, оскільки саме вони визначають експлуатаційну стійкість та довговічність споруд. Одним із найбільш ефективних рішень для передавання навантажень на несучі шари ґрунту є глибокі фундаменти, серед яких важливе місце займають буронабивні палі.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Основними тенденціями сучасного будівництва у великих містах під час зведення як житлових, так і громадських будівель є підвищення поверховості забудови (висота будівель до 100 м і більше), збільшення кількості споруд, під якими освоюються підземні простори (завглибшки 10 м і більше), зростає кількість об'єктів, на яких проводять реконструкцію в умовах щільної забудови. При цьому вирішуються завдання як надбудови будівель, так і влаштування під ними заглиблених приміщень. Зазначені види будівництва потребують спорудження фундаментів підвищеної несучої здатності на штучних, здебільшого пальових, основах, влаштування в ґрунті глибоких котлованів (виїмок) [1].

Ряд робіт присвячений вивченню особливостей влаштування палевих фундаментів та їхній взаємодії з основою [2].

Так у праці [3] розкрито послідовність влаштування буронабивних паль і їх взаємодію із ґрунтовим масивом у процесі їх виготовлення. Показано, що в процесі виготовлення паль на слабких ґрунтах збільшення периметра палі сягнуло 114% під дією тиску бетону під час бетонування і, як наслідок, на слабких ґрунтах можлива перевитрата бетону до 130%. Зроблено оцінку несучої здатності бурових паль, що виготовляються в ґрунті, з урахуванням технології виготовлення та їхнього розташування за глибиною в ґрунтах.

Авторами [4] розглянуто особливості влаштування паль за технологією «Controlled Modulus Columns» компанії «Менард» та показано переваги над існуючими технологіями. Встановлено, що такі палі не можна

використовувати в щільних пісках, скельних ґрунтах та твердих пилювато-глинистих ґрунтах.

Серед сучасних методів улаштування буронабивних паль значне поширення отримала технологія CFA (Continuous Flight Auger), відома як метод «порожнистого шнека». Її застосовують як ефективну альтернативу традиційним способам формування пальових фундаментів [5]. Особливостями технології CFA є формування свердловини без виймання ґрунту, подача бетонної суміші під тиском через порожнистий шнек, низький рівень шуму і вібрацій. Такий підхід забезпечує рівномірне заповнення стовбура палі, ущільнення навколишнього ґрунту та дає можливість виконувати роботи в умовах щільної міської забудови та гірській місцевості. Процес бетонування під тиском дозволяє мінімізувати ризики утворення порожнин і дефектів палі, забезпечуючи більш прогнозовану несучу здатність. Завдяки цьому технологія CFA широко застосовується під час зведення об'єктів із високими вимогами до надійності та швидкості монтажу пальових фундаментів.

Для технології CFA характерно використовувати високорухливі бетонні суміші, які забезпечують стабільність подачі під тиском, неперервність бетонування та уникнення розшарування. Висока рухливість бетонної суміші сприяє легшому зануренню металевого каркасу палі у товщу бетону. Щоб отримати такі бетонні суміші, потрібно використовувати добавки-модифікатори. Встановлено, що використання таких добавок покращує реологічні властивості бетонної суміші, знижує водоцементне відношення, підвищує щільність та однорідність структури бетону, а також сприяє збільшенню міцності бетону [6–8].

Слід зазначити, що на сьогоднішній день активно ведуться будівельні роботи в містах України. Згідно [9,10] планується велике будівництво нових курортів в гірській місцевості, де широко використовується технологія CFA. Так, на рис. 1 показано влаштування буронабивних паль по технології CFA в с. Поляниця (Буковель).

Враховуючи масштабність та довготривалість реалізації запланованих будівельних проєктів, розробка і дослідження високо рухливих бетонних сумішей для технології CFA є актуальною на сьогоднішній день.

Мета і завдання дослідження. Метою цієї роботи є розробка високорухливих бетонних сумішей для технології буронабивних паль із використанням хімічних добавок-пластифікаторів.



Рис. 1 Влаштування буронабивних паль по технології CFA

Матеріали та методи

Для виготовлення високорухливих бетонних сумішей в якості в'язучого було використано портландцемент ПЦ II-A-III-500P-H (CEM II/A-S 42,5R) виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Такий цемент використовується для зведення несучих конструкцій, залізобетонних балок, плит перекриттів та тротуарної плитки. Його основні характеристики включають рівномірне наростання міцності, підвищену водонепроникність, морозостійкість та стійкість до корозії і висолів.

Як інертні заповнювачі, використано кварцовий пісок Велико-Глибовицького родовища із модулем крупності $M_{кр} = 1,35$ та гранітний щебінь фракції 5-20 мм Кошівського гранітного кар'єру.

Для покращення реологічних властивостей бетонної суміші використовували хімічні добавки PLASTIDOR 541 та WESTPLAST T-1(12).

PLASTIDOR 541 – суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів та лігносульфонатів. В складі добавки є компонент, що сповільнює схоплення та збільшує терміни живучості бетонної суміші, модифікатор набору міцності бетонного каменю. Густина добавки 1,06-1,08 г/см³, рекомендоване дозування – 0,8-1,6% від маси цементу.

WESTPLAST T-1(12) – це універсальний ефективний суперпластифікатор, який володіє властивостями сповільнювача схоплювання бетонної суміші з можливістю збільшення часу

транспортування. Використовується для виробництва усіх видів товарних бетонів у літніх умовах виробництва задля підвищення пластичності, зменшення В/Ц, збільшення кінцевої міцності бетону, водонепроникності, морозостійкості. Густина добавки 1,02-1,08 г/см³, рекомендоване дозування – 0,4-1,5% від маси цементу.

Згідно [11] проектування складу бетонних сумішей здійснювали з урахуванням фізико-механічних характеристик дрібного та крупного заповнювачів, специфіки роботи мінерального в'язучого та властивостей полімерного модифікатора на основі карбоксилівмісних полімерів.

Кількісний склад компонентів бетону визначали на 1 м³ ущільненої бетонної суміші. Склад бетону задавали у вигляді співвідношення 1 : X : Y, де за одиницю приймали кількість в'язучого, а значення X і Y відповідали витратам дрібного та крупного заповнювачів. Для кожної суміші попередньо встановлювали водоцементне відношення (В/Ц). Значення X та Y обчислювали шляхом ділення масових витрат відповідних заповнювачів на витрати цементу на 1 м³ суміші.

Слід зазначити, що на міцність затверділого бетону та рухливість бетонної суміші впливає значна кількість чинників, які неможливо повністю врахувати аналітичними методами. Тому остаточний склад сумішей уточнювали розрахунково-експериментальним методом. Для цього застосовували метод абсолютних об'ємів із подальшим коригуванням за результатами пробних замісів [12].

В результаті було запроєктовано та заформовано три склади бетонних сумішей класу C25/30 з рухливістю P5.

Таблиця 1 – Склади високорухливих бетонних сумішей

№	Назва складу	В'язуче, кг	Пісок, кг	Щебінь, кг	Вода, л	В/Ц	Добавка, доза, витрата (кг)
1.	Без добавки.	390	665	1065	238	0,61	-
2.	Plastidor 541	390	665	1065	199	0,51	0,8%, (3,12)
3.	Westplast T-1(12)	390	665	1065	222	0,57	1%, (3,9)

Результати та обговорення

Формування та випробовування контрольних зразків на міцність відбувалось згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Спосіб і режим тверднення зразків бетону, призначених для контролю міцності, прийнятий згідно з ДСТУ Б В.2.7-224:2009.

Результати випробувань контрольних зразків на стиск представлено в табл. 2-3 та проілюстровано на рис. 2. Як основні показники міцності контрольних зразків-кубів розглядали характеристики міцності, отримані при випробуваннях на сьому та двадцять восьму добу тверднення.

Таблиця 2 – Результати випробувань контрольних зразків у віці 7 діб

№	Маса зразків, г	Руйнівне навантаження, МПа	Середнє значення, МПа/	Нормоване значення міцності, МПа	%від класової міцності
1.	2384 2376	18,3 17,5	17,9	26,9	66,5
2.	2384 2384	30,1 30,5	30,3		112,6
3.	2354 2350	22,6 21,6	22,1		82,1

Таблиця 3 – Результати випробувань контрольних зразків у віці 28 діб

№	Маса зразків, г	Руйнівне навантаження, МПа	Середнє значення, МПа/	Нормоване значення міцності, МПа	%від класової міцності
1.	2390 2350	28,1 26,9	27,5	38,5	71,4
2.	2408 2400	43,5 41,9	42,7		110,9
3.	2352 2376	33,8 31,3	32,6		84,7

Аналіз отриманих результатів показує, що бездобавочний бетон показує найнижчу міцність, як на 7 так і на 28 добу. Введення у склад бетонної суміші хімічної добавки Westplast T-1(12) зменшує витрату води на 16 л, тобто водоредукуючий ефект становить 6,7%. При цьому міцність такого бетону зростає на 23,5% на 7 добу тверднення, а у віці 28 діб – на 18,5%. Слід зауважити, що введення хімічної добавки не допомогло досягнути проектної міцності бетону. Так, на 28 добу тверднення класова міцність менша на 15,3% від нормованої.

Додавання у склад бетонної суміші пластифікатора Plastidor 541 зменшило витрату води на 39 л, що свідчить про водоредукуючий ефект 16,4%. Міцність такого бетону на 69,3% і 55,2% вища, ніж бездобавочного, на 7 і 28 добу тверднення відповідно. В порівнянні із бетоном на основі іншої хімічної добавки, міцність у віці 7 і 28 діб більша на 37,1% та 31%.

Міцність отриманого бетону у проектному віці становить 42,7 МПа, що на 10,9% вище нормованого значення.

Також було проведено вимірювання осадки конуса кожної бетонної суміші після замішування і через 1 год. Так, осадка конуса бездобавочної бетонної суміші зменшилася з 23 см до 17,5 см, осадка конуса сумішей №2 і №3 зменшилася з 23 см до 22 см та з 23 см до 19,5 см відповідно. Як бачимо, добавка Plastidor 541 не тільки сприяє підвищеній міцності бетону, але й продовжує живучість бетонної суміші, що є дуже важливим при бетонуванні при високих температурах та транспортуванні бетонних сумішей на великі відстані.

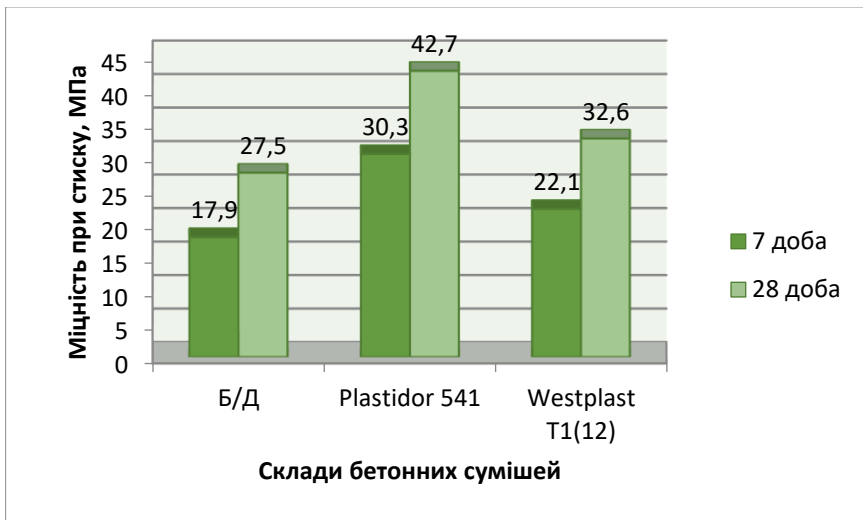


Рис. 2. Оцінка міцності бетонних зразків

Висновки

Сучасні вимоги до надійності та довговічності фундаментів, особливо буронабивних паль CFA, зумовлюють необхідність застосування високорухливих бетонних сумішей із хімічними добавками.

Розроблено склади бетонних сумішей класу C25/30 із різними хімічними добавками, що забезпечують необхідну рухливість та міцність для технології CFA.

В результаті проведених досліджень встановлено, що бетонна суміш із суперпластифікатором Plastidor 541 показала найвищу міцність на 7 і 28 добу (проектна міцність перевищена на 10,9%), мала найменше зниження осадки конуса та продовжену життєздатність суміші, що робить її оптимальною для використання в умовах транспортування та високих температур.

Введення у склад бетонної суміші добавки Westplast T-1(12) призвело до зменшення водоцементного відношення та підвищило міцність бетону, проте міцність такого бетону не досягає проектного значення на 28 добу.

Впровадження хімічних добавок значно покращує реологічні властивості бетонних сумішей та їхні експлуатаційні характеристики, що робить їх доцільними для масштабного та тривалого будівництва в складних інженерно-геологічних умовах.

Таким чином, використання хімічних добавок у високорухливих бетонних сумішах для технології CFA підвищує надійність та ефективність фундаментних робіт, що є актуальним для сучасного будівництва як у містах, так і в гірській місцевості.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Iakymenko, O. V. (2020). Suchasni metody vlashtuvannia pal ta shpuntovykh obhorodzen: navch. posibnyk. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova.
2. Boiko, I., Havryliuk, O., Kashoida, O., & Zhuk, V. (2025). Vzaïemodiia fundamentiv iz burovykh pal z osnovoiu. Osnovy ta Fundamenti / Bases and Foundations, (50), 13–20. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.50.2025.13-20>
3. Timchenko, R. O., Krishko, D. A., Nastych, O. B., Halechan, N. S., Morykon, V. S., & Minko, Yu. Yu. (2024). Osoblyvosti tekhnolohii vyhotovlennia buronabyvnykh pal. Hirnychyi visnyk. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, (112), 3–192.
4. Kovalskyy, R., & Mykolenko, A. (2021). Pali, yaki vyhotovliaiutsia zghidno tekhnolohii «Controlled Modulus Columns» kompanii «Menard». Nauka ta budivnytstvo, 26(4), 37–43. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v26i4.5>
5. ZMU. (n.d.). Buronabivnyi svai metodom CFA. <https://zmu.net.ua/uk/p/529871920-buronabivnye-svai-metodom-cfa/>

6. Sanytskyi, M., Kropyvnytska, T., & Kruts, T., Heviuk, I. (2019). Modyfikovani shvydkotverdnuchi klinker-efektyvni betony. Budivelni materialy ta vyroby, (1–2), 24–28. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2020-101-04>
7. Liu, Y., et al. (2022). Enhancing the mechanical behavior of concretes through polymer modification of the aggregate–cement paste interface. Journal of Building Engineering, 104605. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104605>
8. Tripathi, B. (2024). Effects of polymers on cement hydration and properties of concrete: A review. ACS Omega, 9, 2014–2021. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c05914>
9. Tvoemisto. (2025, March 10). Na Lvivshchyni OKKO buduie masshtabnyi proiekt z lyzhnymy trasamy, kanatnoiu dorohoio, 25 hoteliamy. https://tvoemisto.tv/news/na_lvivshchyni_okko_buduie_masshtabnyy_proiekt_z_lyzhny_my_trasamy_kanatnoyu_dorogoyu_25_gotelyamy_169653.html
10. Zaxid.net. (n.d.). Bilia Bukovelia planuiut zbuduvaty shche dva masshtabni kurorty. https://zaxid.net/bilya_bukovelya_planuyut_zbuduvaty_shhe_dva_masshtabni_kurorti_nl_558458
11. Andrusiak, A. V., Silchuk, D. V., & Velychkovych, A. S. (2024). Otsinka efektyvnosti proektuvannia skladu betonnykh sumishei na alternatyvnykh zapovniuvachakh z pryrodnykh resursiv prykarpatskoho rehionu. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi, (21), 15–28. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-02](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-02)
12. Rosa, A. C., et al. (2023). Use of operational research techniques for concrete mix design: A systematic review. Heliyon, e15362. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15362>

Література

1. Якименко, О. В. (2020). *Сучасні методи влаштування паль та шпунтових обгороджень: навч. посібник*. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.
2. Бойко, І., Гаврилюк, О., Кашоїда, О., & Жук, В. (2025). Взаємодія фундаментів із бурових паль з основою. *Основи та Фундаменти / Bases and Foundations*, (50), 13–20. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.50.2025.13-20>
3. Тімченко, Р. О., Крішко, Д. А., Настич, О. Б., Галечан, Н. С., Мориконь, В. С., & Мінько, Ю. Ю. (2024). Особливості технології виготовлення бурунабивних паль. *Гірничий вісник. Науково-технічний збірник*, (112), 3–192.
4. Kovalskyu, R., & Mykolenko, A. (2021). Палі, які виготовляються згідно технології «Controlled Modulus Columns» компанії «Менард». *Наука та будівництво*, 26(4), 37–43. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v26i4.5>
5. ZMU. (n.d.). Бурунабивні свай методом CFA. <https://zmu.net.ua/uk/p/529871920-buronabivnye-svai-metodom-cfa/>

6. Саницький, М., Кропивницька, Т., & Круць, Т., Гев'юк, І. (2019). Модифіковані швидкотверднучі клінкер-ефективні бетони. *Будівельні матеріали та виробы*, (1–2), 24–28. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2020-101-04>
7. Liu, Y., et al. (2022). Enhancing the mechanical behavior of concretes through polymer modification of the aggregate–cement paste interface. *Journal of Building Engineering*, 104605. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2022.104605>
8. Tripathi, B. (2024). Effects of polymers on cement hydration and properties of concrete: A review. *ACS Omega*, 9, 2014–2021. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c05914>
9. Tvoemisto. (2025, March 10). На Львівщині ОККО буде масштабний проєкт з лижними трасами, канатною дорогою, 25 готелями. https://tvoemisto.tv/news/na_lvivshchyni_okko_buduie_masshtabnyy_proiekt_z_lyzhny_my_trasamy_kanatnoyu_dorogoyu_25_gotelyamy_169653.html
10. Zaxid.net. (n.d.). Біля Буковеля планують збудувати ще два масштабні курорти. https://zaxid.net/bilya_bukovelya_planuyut_zbuduvati_shhe_dva_m_asshtabni_kurorti_n1558458
11. Андрусак, А. В., Сільчук, Д. В., & Величкович, А. С. (2024). Оцінка ефективності проектування складу бетонних сумішей на альтернативних заповнювачах з природних ресурсів прикарпатського регіону. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, (21), 15–28. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-02](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-02)
12. Rosa, A. C., et al. (2023). Use of operational research techniques for concrete mix design: A systematic review. *Heliyon*, e15362. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15362>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 18.11.2025	Received 18.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Y. V. Olevych*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5919-9945>

Department of Construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

A. V. Andrusiak

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2099-9045>

Department of Construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

O. V. Kozak

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0025-6554>

Department of Construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

*corresponding author, e-mail: yurii.olevych@nung.edu.ua

High-Workability Concrete Mixtures for Bored Pile Construction

How to Cite:

Olevych Y. V., Andrusiak A. V., Kozak O.V. (2025). High-Workability Concrete Mixtures for Bored Pile Construction. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 255-265. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-21)

Abstract. The article investigates the characteristics of high-workability concrete mixtures designed for use in CFA (Continuous Flight Auger) pile technology, which involves continuous concrete placement through a hollow auger under pressure. The subsequent stage includes inserting the reinforcement cage into the freshly placed concrete. This technology is widely applied in construction under complex engineering-geological conditions, in mountainous areas, and within densely built urban environments, where low noise levels, the absence of vibrations, and stability of concreting parameters are essential. The high requirements for homogeneity and rheological stability of the concrete mixture necessitate careful selection of modifying admixtures capable of maintaining workability and preventing segregation throughout the entire technological cycle. The study presents an analysis of the influence of modern superplasticizers from different manufacturers on water demand, workability, slump retention, and compressive strength of concrete. It has been established that the use of such modifiers enables the production of stable high-workability mixtures suitable for pressure-fed placement and positively affects the cement hydration process, ensuring a more uniform strength development. Special attention is given to the ability of admixtures to preserve the required consistency for a duration sufficient for transportation and concreting under challenging conditions. Experimental results confirm that properly selected superplasticizers allow for optimizing the water-cement ratio, improving rheological properties, and forming concrete with enhanced physical and mechanical characteristics at the design age. The obtained results can be applied in developing concrete mix designs for CFA technology and are valuable for engineering practice related to pile foundation construction in demanding modern construction environments.

Keywords: bored piles, CFA technology, high-workability concrete mixtures, superplasticizers, water-reducing effect, slump, concrete strength.

УДК 711.1:711.4:711.5

А. М. Панкєєва*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7915-6651>

Кафедра міського будівництва та територіального планування

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, вул. Чорноглазівська, 17, Харків, Україна, 61002

*автор-кореспондент, e-mail: pankeevaanna@i.ua

Критерії просторового розвитку територій зони впливу агломерації

Цитувати як:

Панкєєва, А. М. (2025). Критерії просторового розвитку територій зони впливу агломерації. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 266-278. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-22)

© 2025, Панкєєва А.М..

У статті наведено результати дослідження урбанізаційних процесів, що протікають навколо великих міст та формуванням навколо них агломерацій. Сучасні тенденції просторового розвитку територій підтверджують значення великих міст. Міста виступають як центри тяжіння прилеглих населених місць, що тяжіють один до одного, на принципах взаємодоповнення та балансу й утворюють з ними єдину систему – агломерацію. Складено морфологічну модель агломерації. У містобудівному контексті агломерація розглядається як об'єкт планування і проектування взаємопов'язаного функціонування і розвитку населених місць, що входять до її складу, міжселених територій, інфраструктури. Тому найважливішою характеристикою є саме розуміння сутності поняття «агломерація», визначення критеріїв за якими можливо виокремити територію як агломерацію та визначення її меж. На основі досліджень вітчизняних та зарубіжних фахівців сформульовано критерії за якими можливо виокремити територію як агломерацію та використовувати при визначенні межі зони впливу агломерації. Визначення меж зони впливу агломерації має принципове значення для оцінки просторової структури агломерації, управління урбанізаційними процесами, що протікають навколо великих міст. Наведено відображення ознак та критеріїв у законодавчих та нормативно-правовій документації. Актуальність даного питання особливого значення набуває в рамках проведеної адміністративно-територіальної реформи в Україні. У зв'язку зі зміною адміністративно-територіального устрою України, на сучасному етапі, розробка методології визначення агломерації набуває важливого практичного та теоретичного значення. Відкритим є питання взаємодії між територіальними громадами в рамках такого утворення як агломерація.

Ключові слова: агломерація, урбанізація, просторовий розвиток територій, системи розселення, просторове планування.

Вступ

Деякий час «розповзання» великих міст, виникнення інтенсивних урбанізаційних інтеграційних процесів, що призводять до функціонального і просторового єднання поселень, викликали розгубленість. Однак зараз досить ясно усвідомлено, що лавиноподібний процес розвитку агломерованих форм розселення, що формує нове урбанізоване середовище, носить об'єктивний характер. Стихійне зростання великих міст призводить до хаотичного руху всі їхні зв'язки, що склалися раніше, породжуючи нові міграційні потоки та непередбачені навантаження на міжселенні території і комунікації. Необхідність стримування й керування цих процесів змушує мимоволі звертатися до теми агломерації, навіть тоді, коли, як зараз, цього поняття немає в законодавстві та нормативно-правової документації. Нестримне зростання великих міст і агломерацій потребує аналізу внутрішніх закономірностей та причин цього явища, виявлення недоліків цих форм розселення та оцінки їх справжніх переваг. Незважаючи на повсюдний інтерес до цього явища, багато питань потребує подальших досліджень.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. На протязі багатьох десятиліть питанням формування та розвитку агломерації присвячено багато праць фахівців різних галузей наук. Серед них потрібно відзначити дослідження П. Геддеса [1], Дж. Каполані [2], О. В. Лєскова та Ю. І. Пітюренко [3], Т. Кциз [4], М. М. Габреля [5], М. М. Сюсько [6], Н. В. Чувікіна [7], О. Е. Williamson [8], Т. В. Стешенко Т.В., А. В. Алиєва [9].

Мета і завдання дослідження. Метою статті є визначення ознак, критеріїв за якими можливо виокремити територію як агломерацію та для подальшого використання при визначенні межі зони впливу агломерації, що має велике значення для оцінки взаємодії населених місць в структурі агломерації, упорядкування просторової організації території, керування процесами, які протікають навколо великих міст, формуванню сприятливого середовища для життєдіяльності населення.

Матеріали та методи

Методикою досліджень передбачено використання методів: історичний аналіз, порівняльний аналіз, абстрактно-логічний, структурно-логічного узагальнення, контент-аналіз наукових публікацій, систематизація та узагальнення наукових джерел, діалектичний підхід.

Результати та обговорення

Процес урбанізації відбувається у світі вже багато десятиліть, особливо активно починаючи з XIX століття. За цей час частка міського населення збільшилась майже у 30 разів. Він має як позитивні, так і негативні сторони. До характерних особливостей відносять збільшення

кількості міських поселень й чисельності їх населення, підвищення щільності забудови й населення, посилення ролі промисловості та сфери послуг, зміни соціальних та екологічних умов життя, підвищення вимог до якості життя. Стрімке зростання великих міст сприяло утворенню агломерацій. Сьогодні більше половини міського населення світу живе в агломераціях з населенням понад 500 тис. осіб.

На основі проведених досліджень слід відзначити, що агломерацію створити не можливо. Процес агломеризації йде природним шляхом і, як правило, відбувається стихійно. Її можливо лише «визнати». Виокремлення території як агломерації достатньо складний процес, оскільки наразі відсутні єдині законодавчо або нормативно закріплені критерії, ознаки, властивості для таких утворень.

Термін «агломерація» походить від лат. *agglomerare* – «приєднувати», «додавати», і вперше був використаний шотландським професором П. Геддесом у 1903 році. На його думку «Агломерація – це нова форма угруповання населення, відповідно елементами цієї системи є населення й соціальні зв'язки для позначення форми зближення міст під впливом одного міста-центру» [1]. Протягом багатьох десятиліть термін «агломерація» трансформувався і змінювалась його сутність. Використовують такі терміни, як: агломерація, міська агломерація, адміністративна агломерація, промислова агломерація, рекреаційна агломерація, метрополія, субрегіон, урбанізований район, урбанізовані території, метрополітенські території, метрополітенські ареали, стандартні метрополітенські ареали, метрополітенські райони тощо.

Французький географ Дж. Каполані дає таке визначення: «агломерація – це система міст і селищ із взаємопов'язаними функціональними відносинами, з тенденцією до зрощення в одну просторову загальну міську зону» [2].

Агломераціям України присвячені роботи економ-географам О. В. Лєскову та Ю. І. Пітюренко. На думку вчених, міська агломерація це «не більш розвинута форма й вищий ступінь систем населених місць, а міські утворення зі злитими ареалами населених місць та їхніх функціональних зон, які виникли внаслідок несприятливих історичних передумов розвитку міст, стихійної забудови чи проектування систем населених місць і окремих міст із недостатнім науковим передбаченням» [3].

Польська вчена Т. Кциз визначає міську агломерацію як «складно організоване явище, яке є: урбанізованою територією, що об'єднує міста, поселення селища й сільські населені пункти; містобудівну структуру, що включає в себе ядро та його оточення – периферійну (приміську) територію, безпосередньо з'єднану з ядром; просторову форму, компактну й безперервно забудовану» [4].

М. М. Габрель наголошує, що «агломерація складає цілісний організм завдяки об'єднанню її структурних елементів загальною

транспортною та інженерною інфраструктурами, а також промисловістю» У структурі агломерації автор виділяє передмістя та центри, які просторово та функціонально взаємопов'язані [5].

На думку М. М. Сюсько агломерації представляють: складні динамічні системи територіальної організації з багатьма компонентами, що сформувалися історично; створюють об'єднані урбанізовані зони, які включають прилеглі населені пункти; відзначаються високим ступенем концентрації промислового виробництва, інфраструктури, наукових та освітніх закладів; мають значну загальну чисельність населення. А також, автор зазначає, що вони надають широкий спектр адміністративних та соціальних послуг населенню та характеризуються високим рівнем господарської складності і інтеграції елементів у межах території [6].

У наукових працях зустрічається поняття «адміністративна агломерація». Вона розглядається як субрегіон у межах адміністративно-територіальних одиниць, що формують агломерацію, де діють принципи субрегіонального партнерства [7]. У своїх працях Н. В. Чувікіна вказує на відсутність єдиної системи критеріїв, системно-структурну організацію цих агломерацій, умов формування агломерацій [6].

Слід відзначити програму Організації об'єднаних націй із населених пунктів ООН-Хабітат. У програмі надано таке визначення: «міська агломерація це безперервно забудована територія з щільністю населення, встановленою для міських територій, без урахування адміністративних меж». Згідно з цією програмою міська агломерація може складатись з різних адміністративно-територіальних одиниць з низькою щільністю забудови, населені пункти повинні формувати функціонально цілісний урбанізований регіон, що включає наявність соціальних, торгових, транспортних комунікацій, внутрішньої міграції тощо. Також, середня щільність населення агломерації повинна перевищувати рівень, встановлений для сільських зон [8].

Протягом кількох останніх десятиліть було запропоновано два законопроекти, які присвячено агломераціям. Згідно законопроекту від 17.07.2017 № 6743 «Про міські агломерації», «міська агломерація – це форма співробітництва між громадою міста-центру агломерації та територіальними громадами сіл, селищ, міст, які знаходяться у зоні впливу міста-центру агломерації та мають інтенсивні зв'язки у сферах економіки, праці, культури та побуту з містом-центром агломерації, з метою спільного вирішення окремих функцій місцевого самоврядування». У законопроекті від 19.12.2019 № 2637 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів щодо створення правових підстав для утворення агломерації як однієї з форм співробітництва територіальних громад», надано таке визначення: «агломерація – форма співробітництва територіальної громади, що виконує функції центру агломерації та територіальних громад, які розташовані в зоні впливу центру агломерації та мають з ним інтенсивні господарські, трудові,

культурно-побутові зв'язки, що спричиняють значну щоденну маятникову міграцію населення» [10, 11].

Визначення «агломерація» відображено лише у Постанові Кабінету Міністрів України «Про Основні напрями забезпечення комплексного розвитку малих монофункціональних міст» (втратила чинність). Миська агломерація визначена як «компактне територіальне розміщення міських населених пунктів, об'єднаних інтенсивними господарськими, трудовими і культурно-побутовими зв'язками». Також у законодавчих та нормативно-правових документах термін «агломерація» зустрічається ще в одному Законі України, одному розпорядженні Кабінету Міністрів, в одній постанові Кабінету Міністрів України, в «Державній стратегії регіонального розвитку і у двох ДБН [12-16].

Ознаки та критерії, які відображено у законодавчих та нормативно-правових документах:

- наявність великого міста-центру або міст центрів (Закон України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку малих міст»; Постанова Кабінету Міністрів України «Про Основні напрями забезпечення комплексного розвитку малих монофункціональних міст»; ДБН 360-92**);
- скупчення населених пунктів (Постанова Кабінету Міністрів України «Про Основні напрями забезпечення комплексного розвитку малих монофункціональних міст»; Указ Президента України «Про заходи щодо впровадження Концепції адміністративної реформи в Україні»; ДБН 360-92**);
- наявність міст-супутників (Закон України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку малих міст»);
- структурні елементи (Закон України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку малих міст»; Постанова Кабінету Міністрів України «Про Основні напрями забезпечення комплексного розвитку малих монофункціональних міст»; ДБН 360-92**);
- наявність зв'язків (Постанова Кабінету Міністрів України «Про Основні напрями забезпечення комплексного розвитку малих монофункціональних міст»);
- система розселення (ДБН 360-92**).

Дослідження сутності поняття «агломерація» виявляє відсутність узгодженого й загальноприйнятого її визначення. Різні інтерпретації так чи інакше корелюють із сутністю агломерації як явища. Також відсутня єдність у критеріях, що дозволяють ідентифікувати територію як агломерацію.

На основі визначень терміну «агломерація» та споріднених до неї понять можливо виділити такі ознаки і критерії, а саме: урбанізована територія, наявність зв'язків, система розселення, наявність міста-центру, наявність факту зрощення населених пунктів, наявність злитих ареалів населених місць, «стихийне» розростання забудованої території, виділення

просторової структури (місто-центр, приміська територія), цілісний організм разом з прилеглою територією.

Слід зазначити, що на територію агломерації мають вплив суспільно-політичні процеси, а її просторова структура формується елементами природного довкілля. Перед тим як виокремлювати територію як агломерацію необхідно визначити її опорний каркас. Територія зони впливу агломерації складається з: міста-центру; населених пунктів (міські, сільські); міст-супутників; транспортних комунікацій (залізниця, автомобільні дороги); житлових, громадських, виробничих та рекреаційних зон. Особливого значення набувають місця тяжіння населення, бо переміщення населення по території відображають зв'язки між населеними пунктами. До агломераційних зв'язків належать трудові, культурно-побутові та рекреаційні. На рисунку 1 наведено морфологічну модель агломерації.

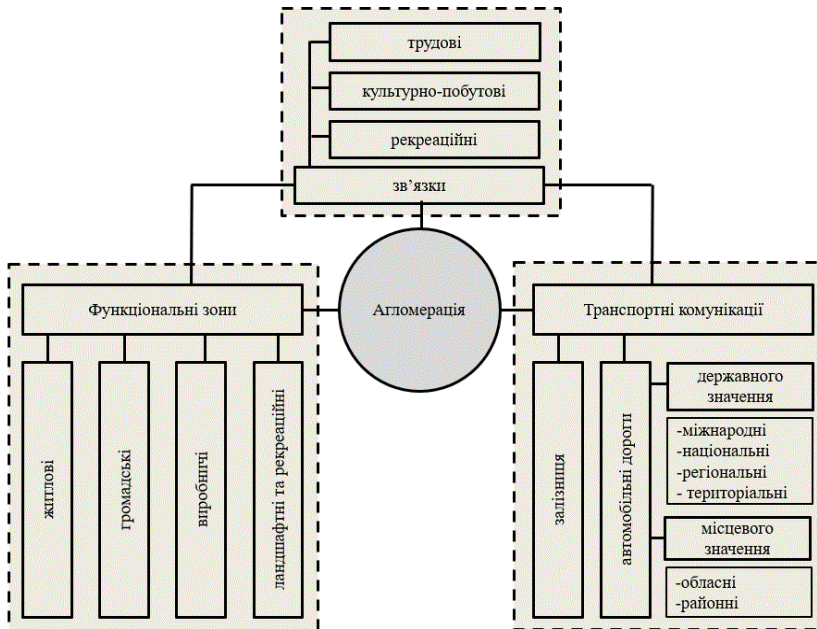


Рис. 1. Морфологічна модель агломерації

Вітчизняна та зарубіжна практика показує, що немає єдиної думки про чисельність міста-центру агломерації, загальну чисельність населення агломерації та чисельність міського населення агломерації.

Концентрація населення в агломераціях дає можливість використовувати фактор чисельності населення як засіб соціально-

культурного та торговельного розвитку. Зростання кількості жителів робить ці поселення інвестиційно привабливими для приходу сюди великих торгових мережових структур та великих девелоперів. Оскільки кожне з міст агломерації окремо не здатне забезпечити економічну вигідність існування потужних розважальних і культурних установ і, як наслідок, різноманітність форм дозвілля, розваг та інформації, економічно приваблює середовище для малого бізнесу і т. п., остільки лише об'єднання їх у рамках єдиної структури управління здатне ініціювати реалізацію великих інвестицій.

Межі зони впливу агломерації рухливі у часі і відображаються у щоденних пересуваннях населення від місця проживання до місць тяжіння населення.

Одним з найбільш важливих критеріїв є розвиненість транспортної мережі території агломерації. Більшість методів визначення меж агломерації засновано на транспортній досяжності від міста-центру до периферійної зони. Показник доступності визначається за оцінкою відстані від міста-центру агломерації до крайнього населеного пункту або час, який витрачають жителі на поїздки до міста-центру. Межі зони впливу міста-центру визначаються радіусом зв'язків: трудових 15-60 км, культурно-побутових та рекреаційних – до 80 км. Також до критеріїв відносять наявність міст-супутників та їх кількість.

На відміну від вітчизняної практики у зарубіжних країнах питаннями агломерацій займаються органи статистики. Федеральне статистичне управління Швейцарії ідентифікує агломерації на основі таких критеріїв: визначення потенційного міста-центру агломерації на основі аналізу щільності населення та обсягу ринку праці; інтенсивність транспортних потоків між ядром та навколишніми муніципалітетами; просторова суцільність забудов; обсяги маятникової міграції. Критеріями визначення агломерацій Франції є: кількість населення (кількість населення муніципалітету не менше 2000 осіб); половина населення повинна проживати в межах суцільної забудованої зони; щільність забудови; безпосереднє сусідство між муніципалітетами, яке формує єдиний (суцільний) простір [17, 18].

Світовий банк використовує так званий агломераційний індекс (agglomeration index) [9]. Агломераційний індекс обчислюється на основі: щільності населення (понад 150 осіб на км² території); транспортної доступності – 60 хвилин до міського поселення; кількості населення у міських поселеннях – не менше 50 тис. осіб. Окрім того, у своїх дослідженнях Світовий банк використовує відбитки нічного освітлення територій.

На основі проведеного дослідження запропоновано критерії за якими можливо виокремити територію як агломерацію та використовувати при визначенні межі зони впливу агломерації (табл. 1).

Таблиця 1. Ознаки та критерії виокремлення території як агломерації

Блок 1 Характеристика міста-центру агломерації	Блок 2 Характеристика регіону
адміністративний статус міста-центру (столиця, місто обласного підпорядкування, місто районного підпорядкування)	демографічна смість(висока щільність населення, міграційний приріст)
економічний потенціал, тобто розвиненість міста-центру (промисловий, сервісний, трудовий, фінансовий, науковий потенціал)	ресурсна база (земельні, водні, продовольчі ресурси тощо)
тип агломерації – визначається кількістю міст-центрів агломерації та характеризує її структурну ознаку (моноцентрична або поліцентрична)	зручне географічне розташування
густота населення міста-центру	проходження міжнародних транспортних коридорів
величина міста-центру (чисельність населення міста-центру)	наявність транспортного вузла й інфраструктури
Блок 3 Просторова структура	Блок 4 Розвиненість зовнішньої зони
наявність великого міста-центру або міст-центрів агломерації	наявність розвинутої транспортної мережі
зрощення територій населених пунктів	транспортна доступність (залізницями, автодорогами, річковими й морськими шляхами)
наявність міст-супутників	наявність регулярних приміських автобусів, електропоїздів, теплоходів
безперервність забудови	наявність трудових, культурно-побутових і рекреаційних зв'язків рівень забезпечення транспортною інфраструктурою
Блок 5 Інтегральна характеристика	Блок 6 Планувальні показники
чисельність міста-центру (ядра) агломерації	кількість та щільність мережі міських поселень
чисельність міського населення агломерації	середня найкоротша відстань між поселеннями
кількість міст-супутників	індекс та коефіцієнт агломеративності
густота населення	площа агломерації
співвідношення забудованих територій до загальної території району	кількість та щільність мережі міських поселень

складність або ступінь розвиненості	
Блок 7 Природні умови розвитку агломерації	Блок 8 Динамічні характеристики розвитку
забезпеченість водними ресурсами	міграційний рух населення
забезпеченість рекреаційними ресурсами	природний рух населення
оцінка стану навколишнього середовища	приріст чисельності населення міста
	приріст чисельності міського населення зовнішньої зони

Висновки

Були розглянуті існуючі визначення терміну «агломерація» вітчизняними та зарубіжними фахівцями. Відображення її у законодавчих та нормативно-правових документах. За результатами аналізу та систематизації підходів до визначення сутності поняття агломерація та критеріїв визначення агломерації, на основі вітчизняних та зарубіжних досліджень та праць, запропоновано ознаки та критерії за якими можливо виокремити територію як агломерацію та використовувати їх при визначенні меж зони впливу агломерації. Отримані результати свідчать про недосконалість існуючої законодавчої та нормативно-правової бази, яка призводить до проблем просторової організації та управління територіями навколо великих міст. Найактуальнішим є питання визначення меж зони впливу агломерації в рамках проведеної реформи, щодо зміни адміністративно-територіального устрою країни, зокрема взаємодія між територіальними громадами в рамках такого утворення як агломерація.

Конфлікти інтересів

Автор заявляє, що у нього немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що при створенні поточної роботи не використовувались технології штучного інтелекту.

References

1. Dronova L. O. (2014) Geourbanism: a textbook. Kyiv: Publishing and Printing Center "Kyiv University", 419 c.
2. Coppolani J. (1960) De Quelques Notions Fondamentales et Définitions en géographie urbaine. *La Vie Urbaine*, 275 s.
3. Lesnov, O.V., Pitiurenko, Yu.I. (1970). Ahlomeratsiia mist, yii pryroda i sut. *Economic Geography*, 9, 36-46.
4. Czyz Teresa (2011) Conceptions of an urban agglomeration and a metropolitan area in Poland. *Geographia Polonica*, Vol № 2, 5-17.
5. Habrel M. M., Khromiak Y.Ia., Lysiak N.M. (2007) Main requirements for the draft "Temporary Regulations on the Lviv Agglomeration. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Management and Entrepreneurship in Ukraine: Stages of Formation and Development Problems*, 605, 66-70.
6. Chuvikina N. (2015) Analysis of foreign experience in managing the development of urban agglomerations. *East*, 5, 95-99. [https://doi.org/10.21847/1728-9343.2015.5\(137\).51071](https://doi.org/10.21847/1728-9343.2015.5(137).51071).
7. Apatenko T. M., Bezliubchenko O. S., Pankeieva A. M. and others (2016) Practice of innovative developments in the sphere of territorial and spatial development of cities and regions: monograph. Kharkiv: KhNUMG named after O. M. Beketov, 171–185.
8. Williamson O. E. (1996) An urbanizing world: global report on human settlements. United Nations Centre for Human Settlements. New York: Oxford University Press, 559 p.
9. Steshenko T. V., Alyieva A. V. (2023) Urban agglomerations as a form of cooperation between territorial communities. *Legal scientific electronic journal*, 3, 114-117. <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2023-3/25>
10. On urban agglomerations: Draft Law of 17.07.2017 № 6743. http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=62318.
11. On amendments to certain legislative acts regarding the creation of legal grounds for the formation of an agglomeration as one of the forms of cooperation between territorial communities: Draft Law of 19.12.2019 № 2637. http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=67710.
12. On the Main Directions for Ensuring the Comprehensive Development of Small Monofunctional Cities: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of March 17 2000 p. №521. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/521-2000-п> (expired).
13. On approval of the National Program for the Development of Small Monofunctional Cities: Law of Ukraine of March 4 2004 №1580-IV. <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1580-15/page>.
14. On approval of the State Strategy for Regional Development for the period until 2020: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 06.08.2014 p. № 385. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/385-2014-п>.

15. DBN 360-92**. Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements: No longer valid. https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_360_92_ua/1-1-0-116.
16. DBN B.2.2-12:2019. Planning and development of territories. Effective from October 1, 2019. https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/b_2_2_12/1-1-0-1802.
17. Analyseregionen. Zusammenhängende Einheiten für die Realisierung räumlicher Analysen <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/analyseregionen.html>
18. Institut National de la Statistique et des Études Économiques. Base des unités urbaines 2020. <https://www.insee.fr/fr/information/4802589>

Література

1. Дронова Л. О. (2014) Геоурбаністика: навчальний посібник. К.: Видавничополіграфічний центр «Київський університет», 419 с.
2. Coppelani J. (1960) De Quelques Notions Fondamentales et Définitions en géographie urbaine. *La Vie Urbaine*, 275 s.
3. Леснов, О.В., Пітюренко, Ю.І. (1970). Агломерація міст, її природа і суть. *Економічна географія*, 9, 36-46.
4. Czyz Teresa (2011) Conceptions of an urban agglomeration and a metropolitan area in Poland. *Geographia Polonica*, Vol № 2, 5-17.
5. Габрель М. М., Хром'як Й.Я., Лисяк Н.М. (2007) Основні вимоги до проекту «Тимчасового положення про Львівську агломерацію. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*, 605, 66-70.
6. Чувікіна Н. (2015) Аналіз зарубіжного досвіду управління розвитком міських агломерацій. *Схід*, 5, 95-99. [https://doi.org/10.21847/1728-9343.2015.5\(137\).51071](https://doi.org/10.21847/1728-9343.2015.5(137).51071).
7. Апатенко Т. М., Безлюбенко О. С., Панкєєва А. М. та інші (2016) Практика інноваційних розробок у сфері територіально-просторового розвитку міст і регіонів: монографія. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекєтова, 171–185.
8. Williamson O. E. (1996) An urbanizing world: global report on human settlements. United Nations Centre for Human Settlements. New York: Oxford University Press, 559 p.
9. Стешенко Т. В., Алиєва А. В. (2023) Міські агломерації як форма співробітництва територіальних громад. *Юридичний науковий електронний журнал*, 3, 114-117. <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2023-3/25>
10. Про міські агломерації : Проект Закону від 17.07.2017 № 6743. http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=62318.
11. Про внесення змін до деяких законодавчих актів щодо створення правових підстав для утворення агломерації як однієї з форм співробітництва

територіальних громад : Проект Закону від 19.12.2019 № 2637.
http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=67710.

12. Про Основні напрями забезпечення комплексного розвитку малих монофункціональних міст : Постанова Кабінету міністрів України від 17 березня 2000 р. №521. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/521-2000-п> (втратила чинність).

13. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку малих монофункціональних міст: Закон України від 04 березня 2004 №1580-IV. <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1580-15/page>.

14. Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 року : Постанова Кабінету Міністрів України від 06.08.2014 р. № 385. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/385-2014-п>.

15. ДБН 360-92**. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: Втратив чинність.
https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_360_92_ua/1-1-0-116.

16. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. Чинний від 1 жовтня 2019 р. https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/b_2_2_12/1-1-0-1802.

17. Analyseregionen. Zusammenhängende Einheiten für die Realisierung räumlicher Analysen
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/analyseregionen.html>

18. Institut National de la Statistique et des Études Économiques. Base des unités urbaines 2020. <https://www.insee.fr/fr/information/4802589>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.11.2025	Received in revised form 12.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A. M. Pankeieva*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7915-6651>

Department of Urban Construction and Territorial Planning

O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,17, Kharkiv, Chornoglazivska Street, Ukraine, 61002

*corresponding author, e-mail: pankeevaanna@i.ua

Criteria for spatial development of territories in the agglomeration influence zone

How to Cite:

Pankeieva, A.M. (2025). Criteria for spatial development of territories in the agglomeration influence zone. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 266-278. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-22)

Abstract. The article presents the results of a study of urbanization processes occurring around large cities and the formation of agglomerations around them. Modern trends in the spatial development of territories confirm the importance of large cities. Cities act as centers of gravity of adjacent settlements that gravitate towards each other on the principles of complementarity and balance and form a single system with them - an agglomeration. A morphological model of an agglomeration has been compiled. In the urban planning context, an agglomeration is considered as an object of planning and designing the interconnected functioning and development of settlements that are part of it, inter-settlement territories, and infrastructure. Therefore, the most important characteristic is precisely understanding the essence of the concept of "agglomeration", determining the criteria by which it is possible to distinguish a territory as an agglomeration and determining its boundaries. Based on the research of domestic and foreign specialists, criteria have been formulated by which it is possible to distinguish a territory as an agglomeration and use them when determining the boundaries of the agglomeration influence zone. The definition of the boundaries of the agglomeration influence zone is of fundamental importance for assessing the spatial structure of the agglomeration, managing urbanization processes occurring around large cities. The reflection of signs and criteria in legislative and regulatory documentation is given. The relevance of this issue is of particular importance within the framework of the administrative-territorial reform carried out in Ukraine. In connection with the change in the administrative-territorial structure of Ukraine, at the present stage, the development of a methodology for defining agglomerations is of important practical and theoretical importance. The issue of interaction between territorial communities within the framework of such a formation as an agglomeration is open.

Keywords: agglomeration, urbanization, spatial development of territories, settlement systems, spatial planning.

УДК 725.1

О.С. Пасічник *

Кандидат архітектури, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8381-0257>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Ю.Й. Казмірук

Заслужений архітектор України, доцент,

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Р.В. Пасічник

Кандидат технічних наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-1269>

кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Ю.С. Косирева

магістр,

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: oxanapasichnyk@gmail.com

Багатофункціональні центри протезування, реабілітації та соціальної адаптації пацієнтів: аналіз сучасних потреб щодо планування типологічної групи

Цитувати як:

Пасічник, О.С., Казмірук, Ю.Й., Пасічник, Р.В., Косирева, Ю.С. (2025). Багатофункціональні центри протезування, реабілітації та соціальної адаптації пацієнтів: аналіз сучасних потреб щодо планування типологічної групи. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 279-292. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-23](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-23)

© 2025, Пасічник О.С., Казмірук Ю.Й., Пасічник Р.В., Косирева Ю.С.

Стаття присвячена аналізу історичного розвитку, сучасного стану та ключових проблем формування типологічної групи центрів протезування, реабілітації та соціальної адаптації пацієнтів, а також обґрунтуванню необхідності створення багатофункціональних комплексів, що поєднують медичні, технологічні та соціальні функції. На основі аналізу наукових публікацій, міжнародних рекомендацій та практичного досвіду різних країн розглянуто еволюцію реабілітаційних закладів від ремісничих майстерень до високотехнологічних комплексів. Підкреслено дефіцит реабілітаційних послуг, відсутність інтегрованих структур та уніфікації архітектурних рішень, що не відповідають персоналізованим потребам пацієнтів. Особливу увагу приділено проблемам взаємодії між медичними, психологічними закладами та закладами протезування, нестачі нормативної бази для проектування та недостатній інклюзивності середовища.

У статті проаналізовано кращі міжнародні практики – центри у США, Нідерландах, Данії, Малайзії та інших країнах, де застосовано принципи «зцілювального середовища», модульного планування, комплексної соціальної інтеграції та використання сучасних технологій. Окремо розглянуто сучасні українські приклади — реабілітаційні центри у Львові та Василькові.

Результати дослідження доводять, що створення типологічної групи багатофункціональних центрів, які об'єднують процеси протезування, медичної реабілітації та соціальної адаптації, є необхідною умовою ефективного відновлення пацієнтів. Запропонована концепція базується на міждисциплінарному підході, інклюзивності, модульності та екологічності, що забезпечує підвищення якості лікування, комфортність середовища та інтеграцію пацієнтів у суспільство.

Ключові слова: багатофункціональний комплекс, протезування, реабілітація, соціальна адаптація, пацієнт, типологічна група.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. За даними Міністерства охорони здоров'я України, в державі функціонує понад 400 реабілітаційних центрів, серед яких 262 заклади забезпечують стаціонарне лікування, а 411 – амбулаторне, а також крім того зареєстровано 80 протезних підприємств [1]. На перший погляд, така кількість спеціалізованих установ може здаватися достатньою для країни з населенням близько 41 млн осіб [2]. Після початку повномасштабної війни чисельність населення зменшилася орієнтовно до 32 млн осіб та збільшилась кількість людей з інвалідністю, які потребують комплексного лікування. Тільки 15-20% споруд реабілітаційного спрямування мають прямий доступ до протезів різної складності. Це в свою чергу безпосередньо впливає на якість лікування та рівень комфорту пацієнтів у даних медичних закладах. Розміщення будівель, необхідних для кожного етапу протезування: від обмірів для протезу до психологічної підтримки у післяопераційний період, потрібно забезпечувати у єдиній цілісній структурі для коректного та безперервного лікування.

Аналіз публікацій щодо формування даної типологічної групи виявив, що розвиток історії реабілітаційних центрів та протезної інженерії досліджував у своїй статті А. Хобсон [3]; проблеми планувальної структури військових реабілітаційних центрів виявила Н. Криворучко [4]; у посібнику від департаменту у справах ветеранів США подано основні рекомендації щодо архітектурного планування реабілітаційних центрів із амбулаторним лікуванням після протезування [5]; Іван Ділли доводить важливість співпраці центрів реабілітації із протезними установами [7].

Ефективне відновлення пацієнтів після травм або ампутацій потребує наявності єдиного функціонального комплексу, у межах якого зосереджено всі необхідні етапи протезування – від первинних обмірів до психологічної підтримки у післяопераційний період. Проте на сьогодні в Україні відсутній

подібний багатофункціональний центр, який поєднував би процеси протезування, реабілітації та соціальної інтеграції пацієнтів у єдиній структурі.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є простежити етапи розвитку реабілітаційних центрів від їх початкових структур до сучасних планувальних рішень; визначити основні проблеми у формуванні установ, що надають послуги протезування та реабілітації; проаналізувати міжнародний досвід функціонування спеціалізованих комплексів; обґрунтувати необхідність інтеграції закладів медичного, соціального та громадського призначення в єдину багатофункціональну типологічну групу.

Матеріали та методи

Реабілітаційний центр – це заклад охорони здоров'я, діяльність якого спрямована на відновлення фізичного та психологічного стану людини після травм, важких захворювань, хірургічного втручання або протезування. Перші спроби виготовлення протезів здійснювалися ще задовго до Першої світової війни окремими ремісничими майстернями. У той час створення протезів сприймалося радше як ремесло, ніж як перспективна техніко-медична галузь. Після Першої світової війни (1914–1918 рр.) унаслідок великої кількості травм та ампутацій потреба у протезах зросла багаторазово. Виготовленням протезів почали займатися не лише майстри-одинаки, а й фахівці у військових шпиталях та медичних закладах. Перші спроби стандартизації протезів зафіксовані у США, хоча як окрема інституційна структура реабілітаційні центри сформувалися лише після 1940-х років [3]. Першим офіційно визнаним науково-дослідним закладом у цій сфері вважається Центр протезування Адміністрації ветеранів США, заснований у 1945 році. З огляду на значний попит на протези після Другої світової війни (1939–1945 рр.), у 1970-х роках розпочалося створення дослідницьких центрів реабілітаційної інженерії, перший із яких було відкрито у Тенесійському університеті (1971р.) під керівництвом А.Д. Хобсона.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 2,4 млрд людей у світі потребують реабілітаційної допомоги, причому близько 50% громадян країн із низьким або середнім рівнем доходу не мають доступу до необхідних послуг. Це свідчить про глобальний дефіцит реабілітаційних установ та нерівномірний розподіл медичних ресурсів.

Показовим прикладом є Центр фізичної реабілітації у Джубі (Південний Судан), збудований у 2008 році. У його структурі поєднано виробництво протезів, реабілітаційні приміщення, фізіотерапію та служби психологічної підтримки. Важливою перевагою центру є надання безкоштовної медичної допомоги на всіх етапах лікування та створення

інклюзивного середовища, доступного для осіб з різними формами інвалідності [8, 9].

Попри значний розвиток галузі, реабілітаційні центри та протезні установи і сьогодні мають низку невирішених проблем. Як зазначав А. Хобсон [3], перші заклади, що надавали послуги протезування, зіткнулися з різким зростанням попиту, який призвів до викривлення пріоритетів: акцент робився переважно на технічному вдосконаленні протезів, а не на зручності їх використання пацієнтами. За його словами, представники середнього класу часто не могли ефективно користуватися протезами через їх надмірну технологічну складність та автоматизацію.

На думку І. Ділли, однією з головних проблем 1950-х років була автономність протезних підприємств та реабілітаційних установ, які діяли незалежно, без налагодженої системи обміну інформацією. Це привело до зниження ефективності лікування, значних затримок у виготовленні протезів, уповільнення терапевтичних циклів та подовження процесу відновлення пацієнтів. Крім того, більшість реабілітаційних центрів розміщувалися на периферії міст або за їх межами, що не враховувало персоналізованих потреб пацієнтів і ускладнювало доступ до медичних послуг. Така практика негативно впливала як на ефективність лікування, так і на комфорт перебування хворих [3, 7]. З часом частину цих проблем вдалося усунути, проте інші залишаються актуальними й сьогодні.

У сучасних дослідженнях, зокрема Наталії Криворучко [4] детально висвітлено недоліки медичної структури у контексті реабілітації та протезування. Першою з них є уніфікація медичних закладів, що залишилася спадком радянської системи. Будівлі реабілітаційного та протезного призначення не мають суттєвих архітектурних відмінностей від лікарень чи поліклінік, а отже, не відповідають вимогам персоналізованої реабілітації, де важливими є ергономічність, фізіотерапія, психологічна підтримка, безбар'єрність та можливість самостійного пересування пацієнтів. Також у сучасній системі досі не повною мірою реалізовано міждисциплінарний підхід до лікування. Хоча медичні заклади співпрацюють із виробничими підприємствами, взаємодія між медичною, психологічною та технологічною складовими залишається фрагментарною. В Україні це пов'язано, зокрема, з відсутністю нормативної бази, що регламентувала б проектування спеціалізованих медичних центрів для надання реабілітаційних послуг після протезування. Важливим недоліком сучасних реабілітаційних і протезних установ є недооцінка архітектурного та естетичного аспекту лікувального середовища. Як зазначає Н. Криворучко, архітектура безпосередньо впливає на психологічний стан пацієнтів: локалізація будівлі, підбір матеріалів, кольорова гама та природне освітлення формують відчуття ідентичності, соціальної приналежності, контролю над простором і безпеки.

З огляду на виявлені недоліки, особливої уваги потребує пошук шляхів їх усунення та розробка ефективних рішень. Перші рекомендації щодо вдосконалення системи реабілітації та протезування були запропоновані Іваном Діллі. Науковець наголошував, що ключовим чинником у процесі лікування є налагоджена комунікація між усіма учасниками системи. Для цього необхідно формувати міждисциплінарний підхід, який об'єднує лікарів, фізіотерапевтів, протезистів, психологів та інших фахівців у межах єдиного простору, забезпечуючи повний цикл лікування. Ці принципи підтверджені і в посібнику Міністерства у справах ветеранів США, де підкреслено важливість проектування реабілітаційних центрів із оптимальним функціональним зонуванням та безперешкодним доступом до всіх відділень [5, 7]. Серед основних рекомендацій цього ж посібника окрему увагу приділено архітектурному формуванню лікувального середовища. Просторова організація реабілітаційного центру повинна включати значну кількість зелених зон, низький рівень шуму, достатній доступ природного освітлення до палат і процедурних кабінетів. Таке середовище сприяє психологічному відновленню пацієнтів, знижує рівень стресу і підвищує ефективність лікування. У документі цей принцип визначено як «принцип зітлювального середовища». У просторі реабілітаційного центру, необхідно враховувати адаптивність архітектурного середовища до індивідуальних потреб пацієнтів згідно з сучасними стандартами інклюзивності. Це передбачає проектування широких коридорів, облаштування пандусів і ліфтів, а також використання додаткових елементів інтер'єру, що забезпечують зручне пересування між корпусами та палатами. Оскільки реабілітаційні центри з протезування надають широкий спектр медичних і соціальних послуг, їхня архітектура має бути гнучкою та пристосованою до індивідуального лікування кожного пацієнта. Оптимальним рішенням є використання модульного планування, що дозволяє швидко змінювати функціональну структуру будівлі без значних витрат часу та ресурсів. Прикладом успішного застосування таких принципів є центр реабілітації у Малайзії (Рис. 1). Цей комплекс об'єднує всі основні напрямки лікування – від протезування до психологічної підтримки, поєднує відкриті простори, зони відпочинку та сучасні естетичні рішення [4], [5], [10].

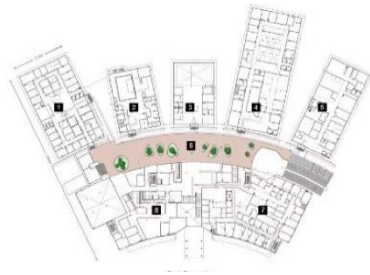


Рис. 1. SOCSO Rehabilitation Centre (Малайзія, 2014)

Подальше вдосконалення реабілітаційних установ можливе завдяки стандартизації планувальних рішень. Створення та впровадження нормативної документації відповідно до сучасних вимог сприятиме прискоренню проектування і підвищенню якості лікувального процесу [5].

Наступною важливою рекомендацією є інтеграція сучасних технологій у систему лікування. Це включає застосування 3D-друку для виготовлення протезів, удосконалення заходів безпеки у лабораторіях (вентиляційні системи, сучасне обладнання), впровадження дистанційного моніторингу стану пацієнтів, електронного зберігання медичних даних та автоматизації внутрішніх процесів – зокрема дверей, навігації з голосовим супроводом і сенсорних систем. Ця технологія забезпечує швидке виготовлення компонентів, точну адаптацію протезів до анатомічних особливостей пацієнтів, зменшення вартості виробництва, можливість модернізації окремих елементів без зміни базової конструкції, а також загальне зниження вартості протезів.



Рис. 2. Манчестерський спеціалізований центр здібностей, (Велика Британія, 2014)



Рис. 3. Реабілітаційний центр Крістін Е. Лінн (США, 2021)

Манчестерський центр спеціалізованих здібностей (Рис. 2) є прикладом ефективного використання сучасних технологій, зокрема 3D-

друку. Будівлю колишнього офісного призначення було переобладнано у реабілітаційний комплекс із дотриманням усіх функціональних вимог та сучасних архітектурних рішень. У структурі центру передбачено виробництво протезів, зали фізіотерапії, кабінети психологічної підтримки та простори соціальної інтеграції пацієнтів [5], [6], [11].

Не менш значущою рекомендацією є посилення соціальної інтеграції пацієнтів, що сприяє їх адаптації до звичного життя та поверненню активності у суспільстві. Соціальна інтеграція є однією з найбільш недооцінених складових у формуванні сучасної системи реабілітації після протезування. Міністерство у справах ветеранів зазначає, що соціальна взаємодія між людьми позитивно впливає на психологічний стан пацієнтів і сприяє їхній успішній реінтеграції в суспільство.

Реалізація цього принципу можлива завдяки створенню в межах реабілітаційних центрів спеціальних приміщень для тимчасового перебування членів родини, організації сімейної терапії, проведенню курсів із відновлення навичок користування побутовими предметами, а також завдяки взаємодії з громадськими організаціями, які можуть надавати допомогу після завершення основного етапу лікування.

Вдалим прикладом впровадження цих підходів є Центр реабілітації у Маямі (Рис.3). Основними перевагами закладу є сучасне обладнання, архітектурна інклюзивність та комплексна програма соціальної адаптації. Споруда оснащена симуляційними приміщеннями, що імітують умови повсякденного життя: квартиру, автомобіль і навіть літак. Завдяки цьому пацієнти мають можливість відновлювати навички самостійного пересування, готування їжі, прибирання, прасування та прання. Крім того, у будівлі передбачені кімнати для тимчасового проживання родичів із можливістю суміжного розташування поруч із палатами пацієнтів [5], [12].

Результати та обговорення

Наведені вище рекомендації, узагальнені з низки наукових досліджень, становлять важливу основу для формування сучасного підходу до проектування багатофункціональних центрів протезування, реабілітації та соціальної інтеграції. Саме на їх основі були реалізовані такі провідні об'єкти в США (Рис. 4 і 5). У цих проектах застосовано комплексний підхід до реабілітаційного процесу з об'єднанням усіх етапів лікування в єдиному функціональному середовищі. Територія центрів включає рекреаційні простори — зони відпочинку, зелені насадження, внутрішні двори, адаптовані до потреб пацієнтів. Використано голосові



Рис. 4 Реабілітаційний центр
політравми в Тампі
(США, 2014)



Рис. 5. Центр політравматичної
реабілітації для осіб із
порушенням зору (США, 2014)

орієнтири, пандуси, тактильні та візуальні маркери для полегшення пересування. Принципи інклюзивності реалізовано також в інтер'єрі: забезпечено достатню ширину коридорів, спальних і санітарних приміщень, встановлено автоматизовані двері, сенсорні датчики та сучасні ліфти. Планувальна структура базується на модульній системі, де лікувальні й побутові блоки згруповані в єдину логічну схему. Особливою рисою центрів є наявність квартир-симуляторів, приміщень для родинного проживання, а також громадських просторів — кафе та зон відпочинку, що сприяють соціальній адаптації пацієнтів і відновленню навичок самостійного життя [13], [14].

Серед європейських прикладів варто відзначити «Реабілітаційний центр Groot Klimmendaal» у Нідерландах та «Реабілітаційний центр Egmont» у Данії. Хоча обидва об'єкти мають однакову спеціалізацію, підходи до архітектурного формування суттєво різняться. Нідерландський центр акцентує увагу на психологічному оздоровленні пацієнтів шляхом створення спокійного, гармонійного простору. Архітектурна концепція передбачає інтеграцію фасадів із природним середовищем, використання прозорих матеріалів, таких як скло, у зовнішньому оформленні та натуральних матеріалів в інтер'єрі. Це забезпечує візуальний і психологічний зв'язок людини з природою, що сприяє внутрішньому балансу та відчуттю спокою. Тим часом у Данії реалізовано будівлю, яка зосереджена на фізичній реабілітації. Її особливістю є влаштування басейнів і водних гірок, пристосованих для осіб, що пересуваються на інвалідних візках, створення об'єднаних просторів для проведення терапевтичних занять різного спрямування, а також використання зон відпочинку персоналу з метою соціальної інтеграції пацієнтів [15], [16].

В Україні питання проєктування сучасних реабілітаційних центрів також активно розвивається. Уже реалізовано низку об'єктів, які набувають популярності завдяки комплексному підходу до реабілітації. Серед них варто відзначити два приклади: Національний реабілітаційний центр

«НЕЗЛАМНІ» у місті Львів (Рис. 6.) та Реабілітаційний центр у Василькові (Рис. 7.). Національний центр «НЕЗЛАМНІ» являє собою семиповерхову будівлю, створену за принципом поєднання медичної, психологічної та соціальної реабілітації. Головний корпус лікарні об'єднано з новим будинком за допомогою скляного мосту. Комплекс включає медичні відділення, палати, зони відпочинку, приміщення для тимчасового проживання родичів, а також аудиторії для групових занять. Установа оснащена сучасним обладнанням, повністю відповідає принципам інклюзивності та екологічності. Архітектурний образ будівлі, сформований із застосуванням природних матеріалів та напіввідкритих фасадних елементів, сприяє створенню затишної атмосфери, що позитивно впливає на психологічний стан пацієнтів.



Рис. 6. Національний реабілітаційний центр «НЕЗЛАМНІ» (Україна, 2023)



Рис. 7. Реабілітаційний центр у Василькові (Україна, 2024)

Особливістю центру у Василькові є його мобільність та швидкість реалізації. Об'єкт має модульну структуру, що дозволяє транспортувати або розміщувати його в різних містах залежно від потреб. Центр є повністю безбар'єрним і забезпечує обслуговування близько 6 тисяч осіб [17], [18].

Отже, основна концепція планування багатофункціональних центрів протезування, реабілітації та соціальної інтеграції полягає у створенні єдиної реабілітаційної структури, що охоплює всі етапи лікування – від фізичного до психологічного відновлення. Такий комплекс повинен включати виробничі приміщення для протезування, медичні відділення, аудиторії для семінарів і тренінгів, зони дозвілля, відпочинку, а також житлові приміщення для родичів пацієнтів. Запропонованим рішенням є формування мультифункціональної території з розширеним доступом до громадських об'єктів (кафе, аптек, магазинів) та до медичних установ для дітей і літніх людей, що сприятиме соціальній адаптації пацієнтів. Всі такі будівлі мають проектуватися згідно з міжнародними стандартами інклюзивності та бути оснащеними сучасними технологічними системами, які забезпечують комфорт і безпеку людей з інвалідністю.

Окрім цього, важливим є дотримання принципів екологічності - використання енергоефективного обладнання, мінімізація відходів, застосування природних матеріалів в інтер'єрі та екстер'єрі. Майбутні реабілітаційні центри повинні створювати атмосферу безпеки, спокою та гармонії завдяки продуманим архітектурним рішенням, відкритим просторам і взаємодії з природним середовищем.

Висновки

Протезно-ортопедична галузь бере свій початок ще до Першої світової війни, коли виробництво протезів мало ремісничий характер. Офіційне поняття «реабілітації» з'явилося у 1940-х роках у США. Наслідки світових воєн спричинили потребу у швидкому розвитку технологій протезування та будівництва реабілітаційних закладів. Проте довгий час такі об'єкти не враховували індивідуальні потреби пацієнтів і позбавлені були комплексного підходу до лікування.

Сьогодні важливо переосмислити систему реабілітації, поєднавши фізичне, психологічне й соціальне відновлення в єдиний архітектурно-функціональний комплекс. Необхідно впроваджувати новітні технології, проектувати достатню кількість рекреаційних зон і просторів для родичів пацієнтів, а також забезпечити унікальний архітектурний образ будівель, що формуватиме відчуття безпеки та комфорту.

Сучасна концепція проектування типологічної групи багатофункціональних центрів орієнтована на міждисциплінарний підхід, де залучаються спеціалісти різних напрямів, а простір пристосовується до потреб усіх категорій пацієнтів. Такий підхід сприятиме їх адаптації до повсякденного життя, залученню до суспільної діяльності та створенню сприятливого середовища для відновлення.

Реалізація зазначеної концепції як в Україні, так і за кордоном сприятиме підвищенню рівня реабілітаційної допомоги та якості протезування. Інтеграція медичних і комерційних об'єктів у єдину структуру дасть змогу обмінюватися професійним досвідом, розвивати нові напрями досліджень і забезпечувати фінансову стабільність установ. Використання сучасних технологій і привабливого архітектурного дизайну зробить такі центри не лише ефективними та адаптивними, а й економічно вигідними.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Over 400 rehabilitation centers and over 80 prosthetic enterprises operate in Ukraine [Electronic resource]. – 2023. – Access mode: <https://invak.info/reabilitatsiya/v-ukrayini-pracyuyut-ponad-400-reabilitacijnikh-centriv-ta-ponad-80-proteznikh-pidpriyemstv.html>
2. Population and average population size by periods of the year. Archive for 2022 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
3. Hobson D. A. Reflections on rehabilitation engineering history: are there lessons to be learned? // Journal of Rehabilitation Research and Development. – 2002.
4. Kryvoruchko N. Problems of architectural formation of military clinic rehabilitation centers // Science and Innovation. – 2021.
5. U.S. Department of Veterans Affairs. Polytrauma Rehabilitation Center Design Guide. – Washington: U.S. Department of Veterans Affairs, 2014.
6. Madden K. E., Deshpande A. D. On Integration of Additive Manufacturing During the Design and Development of a Rehabilitation Robot: A Case Study // ASME Journal of Medical Devices. – 2014.
7. Dillee I. A. Rehabilitation Centers and the Prosthetic-Orthopedic Facility: How to Develop Effective Cooperation for the Mutual Benefit. – 1956.
8. World Health Organization. Rehabilitation [Electronic resource]. – 2024. – Access mode: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation>
9. International Committee of the Red Cross. Physical Rehabilitation Centres. – Geneva: ICRC, 2014.
10. Architizer. SOCSO Rehabilitation Centre [Electronic resource]. – Access mode: <https://architizer.com/projects/socso-rehabilitation-centre/>
11. AccessAble. Specialised Ability Centre Manchester [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.accessable.co.uk/manchester-university-nhs-foundation-trust/manchester-university-nhs-foundation-trust-community-sites/access-guides/specialised-ability-centre-manchester>
12. UHealth / Jackson Memorial. Christine E. Lynn Rehabilitation Center [Electronic resource]. – Access mode: <https://rehabilitation.jacksonhealth.org/locations/christine-e-lynn-rehabilitation-center/>
13. The Design Partnership. VA Palo Alto Polytrauma and Blind Rehabilitation Center [Electronic resource]. – 2014. – Access mode: <https://dpsf.com/portfolio/va-palo-alto-rehabilitation-center/>

14. USF Health. James A. Haley Veterans Hospital [Electronic resource]. – Access mode: <https://health.usf.edu/medicine/internalmedicine/digestive/jah-vh>
15. ArchDaily. Rehabilitation Centre Groot Klimmendaal / Koen van Velsen [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.archdaily.com/126290/rehabilitation-centre-groot-klimmendaal-koen-van-velsen>
16. ArchDaily. Vandhalla Egmont Rehabilitation Centre [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.archdaily.com/474130/vandhalla-egmont-rehabilitation-centre-cubo-arkitekter-force4-architects>
17. Lviv portal. The opening date of the RC "NEZLAMNI" building in Lviv has become known [Electronic resource]. – Access mode: <https://portal.lviv.ua/news/2023/01/16/stala-vidoma-data-vidkryttia-suchasnoho-korpusu-rts-nezlamni-u-lviv>
18. A restored rehabilitation center has started operating in Borodyanka, where Defenders will be returned to a peaceful life [Electronic resource]. – Access mode: <https://bigkyiv.com.ua/u-borodyanczi-zapraczyuvav-vidnovlenyj-czentr-reabilitacziyi-de-budut-povertaty-do-myrnogo-zhyttya-zahysnykiv-i-zahysnycz/>

Література

1. В Україні працюють понад 400 реабілітаційних центрів та понад 80 протезних підприємств [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://invak.info/reabilitatsiya/v-ukrayini-pracyuyut-ponad-400-reabilitacijnikh-centriv-ta-ponad-80-proteznikh-pidpriyemstv.html>
2. Чисельність населення та середня чисельність населення за періоди року. Архів за 2022 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
3. Hobson D. A. Reflections on rehabilitation engineering history: are there lessons to be learned? // Journal of Rehabilitation Research and Development. – 2002.
4. Kryvoruchko N. Problems of architectural formation of military clinic rehabilitation centers // Science and Innovation. – 2021.
5. U.S. Department of Veterans Affairs. Polytrauma Rehabilitation Center Design Guide. – Washington: U.S. Department of Veterans Affairs, 2014.
6. Madden K. E., Deshpande A. D. On Integration of Additive Manufacturing During the Design and Development of a Rehabilitation Robot: A Case Study // ASME Journal of Medical Devices. – 2014.
7. Dillee I. A. Rehabilitation Centers and the Prosthetic-Orthopedic Facility: How to Develop Effective Cooperation for the Mutual Benefit. – 1956.
8. World Health Organization. Rehabilitation [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation>
9. International Committee of the Red Cross. Physical Rehabilitation Centres. – Geneva: ICRC, 2014.
10. Architizer. SOCSO Rehabilitation Centre [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://architizer.com/projects/socso-rehabilitation-centre/>

11. AccessAble. Specialised Ability Centre Manchester [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.accessable.co.uk/manchester-university-nhs-foundation-trust/manchester-university-nhs-foundation-trust-community-sites/access-guides/specialised-ability-centre-manchester>
12. UHealth / Jackson Memorial. Christine E. Lynn Rehabilitation Center [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rehabilitation.jacksonhealth.org/locations/christine-e-lynn-rehabilitation-center/>
13. The Design Partnership. VA Palo Alto Polytrauma and Blind Rehabilitation Center [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу: <https://dpsf.com/portfolio/va-palo-alto-rehabilitation-center/>
14. USF Health. James A. Haley Veterans Hospital [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://health.usf.edu/medicine/internalmedicine/digestive/jah-vh>
15. ArchDaily. Rehabilitation Centre Groot Klimmendaal / Koen van Velsen [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.archdaily.com/126290/rehabilitation-centre-groot-klimmendaal-koen-van-velsen>
16. ArchDaily. Vandhalla Egmont Rehabilitation Centre [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.archdaily.com/474130/vandhalla-egmont-rehabilitation-centre-cubo-arkitekter-force4-architects>
17. Львівський портал. Стала відома дата відкриття корпусу РЦ «НЕЗЛАМНІ» у Львові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://portal.lviv.ua/news/2023/01/16/stala-vidoma-data-vidkryttia-suchasnoho-korpusu-rts-nezlamni-u-lvov>
18. У Бородянці запрацював відновлений центр реабілітації, де будуть повертати до мирного життя Захисників та Захисниць [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bigkyiv.com.ua/u-borodyanczi-zapracuyuvav-vidnovlenyi-czentr-reabilitaciyi-de-budut-povertaty-do-myrnogo-zhyttya-zahysnykiv-i-zahysnycz/>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 16.11.2025	Received in revised form 16.11.2025
Прийнято 24.11.2025	Accepted 24.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Pasichnyk O.S. *

Candidate of Architecture, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8381-0257>
Department of Architecture and Design
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

Kazmiruk Y.Y.

Honored Architect of Ukraine, Associate Professor,
Department of Architecture and Design
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

Pasichnyk R.V.

Candidate of Architecture, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-1269>
Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018 Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine, 43018

Kosyрева Y.S.

Master,

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: oxanapasichnyk@gmail.com

Multifunctional centers for prosthetics, rehabilitation and social adaptation of patients: analysis of current needs for planning a typological group

Cite as:

Pasichnyk O.S., Kazmiruk Yu.Y., Pasichnyk R.V., Kosyрева Yu.S. (2025). Multifunctional centers for prosthetics, rehabilitation and social adaptation of patients: analysis of current needs for planning a typological group. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 279-292. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-23](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-23)

© 2025, Pasichnyk O.S., Kazmiruk Yu.Y., Pasichnyk R.V., Kosyрева Yu.S.

Abstract. The article is devoted to the analysis of the historical development, current state and key problems of the formation of a typological group of centers for prosthetics, rehabilitation and social adaptation of patients, as well as the justification of the need to create multifunctional complexes that combine medical, technological and social functions. Based on the analysis of scientific publications, international recommendations and practical experience of different countries, the evolution of rehabilitation institutions from craft workshops to high-tech complexes is considered. The deficit of rehabilitation services, the lack of integrated structures and unification of architectural solutions that do not meet the personalized needs of patients are emphasized. Particular attention is paid to the problems of interaction between medical, psychological institutions and prosthetics institutions, the lack of a regulatory framework for design and insufficient inclusiveness of the environment. The article analyzes the best international practices - centers in the USA, the Netherlands, Denmark, Malaysia and other countries, where the principles of a "healing environment", modular planning, comprehensive social integration and the use of modern technologies are applied. Separately, modern Ukrainian examples are considered - rehabilitation centers in Lviv and Vasylykiv.

The results of the study prove that the creation of a typological group of multifunctional centers that combine the processes of prosthetics, medical rehabilitation and social adaptation is a necessary condition for the effective recovery of patients. The proposed concept is based on an interdisciplinary approach, inclusiveness, modularity and environmental friendliness, which ensures an increase in the quality of treatment, a comfortable environment and the integration of patients into society.

Keywords: multifunctional complex, prosthetics, rehabilitation, social adaptation, patient, typological group.

УДК 624.011.17

Р.В. Пасічник*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-1269>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська 75, Луцьк, Україна, 43016

А.П. Павлюк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3958-0519>

Кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33028

С.В. Ротко

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1860-7890>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська 75, Луцьк, Україна, 43016

*автор-кореспондент, e-mail: rpasichnik@gmail.com

Дерев'яні конструкції у формі гіпару: моделювання, розрахунок та порівняння трьох структурних варіантів

Цитувати як:

Пасічник Р.В., Павлюк А.П., Ротко С.В. (2025). Дерев'яні конструкції у формі гіпару: моделювання, розрахунок та порівняння трьох структурних варіантів *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 293-307. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-24](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-24)

© 2025, Пасічник Р.В., Павлюк А.П., Ротко С.В.

У статті досліджено просторову роботу дерев'яних конструкцій у формі гіпару на прикладі покриття Літнього театру в місті Києві. Геометричну модель покриття побудовано шляхом апроксимації реальної форми поверхнею гіперболічного параболоїда, що дозволило коректно описати кривину та забезпечити адекватність подальшого чисельного моделювання. Розрахунки виконано методом скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА-САПР із урахуванням геометричної нелінійності, особливостей просторової роботи деревини та впливу форми на напружено-деформований стан.

Проаналізовано три варіанти конструктивних систем: суцільну дерев'яну оболонку, ребристий каркас зі взаємно перехрещених криволінійних елементів та комбіновану систему типу «оболонка + ребра». Для кожного варіанта отримано поля напружень, переміщень, форми втрати стійкості та оцінено характер деформаційних процесів при однакових граничних умовах. Наведено порівняння напруженого стану в напрямках головних кривин, аналіз поведінки при позаплощинних деформаціях та визначено вплив ребристих елементів на перерозподіл зусиль.

Результати показали, що комбінована дерев'яна система забезпечує найменші прогини (11 мм), найвищий коефіцієнт стійкості ($\lambda_{cr} = 3,6$) та рівномірний розподіл напружень по всій поверхні. Суцільна оболонка демонструє

стабільний мембранний характер роботи та помірні переміщення, однак чутлива до локальних втрат стійкості. Ребристий каркас має найбільші прогини, нижчу жорсткість і нерівномірний розподіл зусиль, що обмежує його застосування без додаткового підсилення. Доведено, що поєднання тонкої дерев'яної оболонки з просторовими ребрами є найбільш ефективним рішенням для легких покриттів складної геометрії, забезпечуючи оптимальний баланс жорсткості, стійкості та матеріалоемності.

Ключові слова: деформівність, напруження, тиск, згинальний елемент, гіпар, дерев'яна оболонка, ребристий каркас, комбінована система.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Дослідження просторових конструкцій із криволінійною геометрією має важливе значення для сучасного архітектурного та інженерного проектування [6]. Одним із найбільш ефективних типів таких конструкцій є поверхні гіпарного типу, які забезпечують вигідне поєднання малої матеріаломісткості, високої жорсткості та вираженої мембранної роботи [1; 9]. Поверхні в формі гіпара застосовуються у покриттях павільйонів, відкритих сцен, амфітеатрів і легких громадських споруд, де необхідно забезпечити значний вільний простір без проміжних опор.

У цій роботі поверхня існуючого покриття Літнього театру в місті Києві (Рис. 1) апроксимована геометрією форми гіпара, що дозволяє відтворити її просторову форму та дослідити конструктивну роботу за допомогою скінченно-елементного моделювання [7]. Базові контрольні точки контуру визначають односхилу криволінійну поверхню з одним піднятим кутом, що формує характерний асиметричний розподіл напружень та деформацій.

На відміну від традиційних залізобетонних оболонок, у цьому дослідженні розглядаються дерев'яні варіанти конструкції, що є актуальним у контексті екологічно орієнтованого будівництва [8]. Деревина та деревинні композити (CLT, LVL) дозволяють створювати легкі, пружні та просторово ефективні системи, які можуть відтворювати складну геометрію поверхні гіпара при значно меншій масі конструкції.

З метою комплексної оцінки роботи дерев'яної поверхні гіпара розглянуто три конструктивні варіанти, що суттєво відрізняються за механізмом просторової роботи [7]:

- суцільна дерев'яна оболонка, сформована з CLT/LVL панелей, яка працює переважно в мембранному режимі [1];
- дерев'яний ребристий каркас, де несуча здатність забезпечується системою криволінійних ребер, а поверхня виконує огорожувальну функцію [8];
- комбінована дерев'яна оболонка з підсилювальними просторовими ребрами, що поєднує мембранні властивості тонкої оболонки зі згинальною жорсткістю просторового каркаса [9].



Рис. 1. Літня сцена «Мушля» в Маріїнському парку Києва.

Для кожного варіанта проаналізовано напружено-деформований стан, максимальні прогини та коефіцієнти стійкості. Граничні умови моделі відповідають реальній роботі конструкції та передбачають повне обмеження лінійних переміщень вузлів по контуру ($U_x=U_y=U_z=0$) при вільних обертаннях, що є фізично обґрунтованим для легких просторових покриттів.

Отримані результати дозволяють визначити конструктивні переваги та недоліки кожного варіанта, порівняти жорсткість, стійкість і рівень напружень, а також надати рекомендації щодо оптимального вибору структурної схеми для реконструкції або модернізації покриттів складної геометрії.

Дослідження криволінійних поверхонь у будівництві має тривалу історію, пов'язану з розвитком тонкостінних конструкцій та оптимізацією просторових форм [6]. Перші фундаментальні роботи з геометрії оболонок були присвячені аналізу поверхонь подвійної кривизни, що дозволяли створювати легкі покриття зі значною несучою здатністю. Наукові праці другої половини ХХ століття заклали основи теорії оболонок та формоутворення поверхонь типу гіперболічного параболоїда (гіпара), які

характеризуються високою структурною ефективністю завдяки мембранній роботі.

У сучасній літературі гіпарні поверхні розглядаються як один із ключових інструментів параметричної архітектури, оскільки їх геометрія може бути отримана з використанням лінійних твірних, що значно спрощує проектування та виготовлення [9]. Дослідники відзначають, що гіпарні покриття поєднують невелику масу, виразну архітектурну форму та високу просторову жорсткість, що робить їх придатними для павільйонів, сценічних споруд, спортивних майданчиків і громадських просторів.

Окрему увагу в наукових публікаціях приділено застосуванню деревини та деревинних композитів (CLT, LVL, LSL) у криволінійних просторових системах [8]. Останні дослідження демонструють, що сучасні клеєні дерев'яні матеріали мають достатню міцність і жорсткість для формування складних поверхонь без значного збільшення товщини. Крім того, деревина характеризується малою густиною, високою несучою здатністю на одиницю ваги та можливістю індустріалізації виробництва, що робить її перспективним матеріалом для легких конструкцій покриттів.

Дослідження поведінки дерев'яних оболонок зосереджуються на таких аспектах:

- особливостях мембранної та згинальної роботи у криволінійних поверхнях;
- чутливості тонких дерев'яних панелей до повзучості, вологості та нерівномірного навантаження;
- особливостях сполучення елементів у системах змінної кривини;
- можливості комбінування оболонок із підсилювальними ребрами для підвищення жорсткості та стійкості.

У працях, присвячених просторовим дерев'яним каркасам, підкреслюється важливість точності геометрії, жорсткості з'єднань та впливу крутильних деформацій стрижневих елементів. Результати показують, що ребристі системи мають нижчу жорсткість у порівнянні з суцільними оболонками, але характеризуються технологічною простотою та можливістю модульного монтажу.

Комбіновані системи, які поєднують тонку оболонку та підсилювальні ребра, розглядаються як оптимальний компроміс між матеріаломісткістю та несучою здатністю. Відомо, що підсилювальні елементи дозволяють зменшити згинальні моменти та стабілізувати поверхню, зберігаючи її мембранні властивості. У контексті дерев'яних конструкцій такі системи демонструють високий рівень стійкості та мінімальні прогини при невеликій товщині оболонок.

Окремий напрям досліджень стосується використання цифрових інструментів та скінченно-елементного аналізу для моделювання криволінійних покриттів. Публікації підкреслюють важливість точного відтворення геометрії, правильного задання граничних умов і нелінійних

ефектив, що впливають на роботу тонкостінних дерев'яних систем. Моделювання таких конструкцій дає можливість оцінити різні варіанти структурної організації та підібрати оптимальний тип системи для конкретного об'єкта.

Таким чином, аналіз літератури свідчить, що поєднання геометрії гіпара та сучасних дерев'яних матеріалів є перспективним напрямом для створення легких та ефективних просторових покриттів [1; 6]. Наявні дослідження підтверджують доцільність вивчення різних конструктивних варіантів дерев'яних систем – суцільних оболонок, ребристих каркасів і комбінованих структур – для визначення найоптимальнішого рішення з точки зору жорсткості, стійкості та технологічної реалізації.

Виклад основного змісту дослідження

Геометрична модель досліджуваної конструкції побудована на основі апроксимації поверхні покриття Літнього театру в місті Києві поверхнею гіпара [7]. Такий підхід дає можливість відтворити характерну асиметричну форму покриття, у якій один із кутів є піднятим, тоді як інші три лежать в одній горизонтальній площині [9]. Використання геометрії гіпара забезпечує коректне відображення кривини поверхні та дозволяє виконати подальший аналіз за допомогою скінченно-елементного моделювання.

Габаритні розміри поверхні становлять 24×24 м. Модель побудована у вигляді регулярної сітки 9×9 вузлів з кроком 3 м у напрямках X та Y. Це забезпечує достатню деталізацію для аналізу тонкостінних поверхонь і дозволяє чітко відтворити геометрію кривини гіпара [1].

Ключові контрольні точки контуру, відповідно до вихідних координат, мають такі положення:

- Вузол 1 (0; 0; 8) - піднятий кут;
- Вузол 9 (24; 0; 0) - нижній правий кут по осі X;
- Вузол 73 (0; 24; 0) - нижній лівий кут по осі Y;
- Вузол 81 (24; 24; 0) - задній правий кут;

Таким чином, поверхня має одну підняту вершину та три опорні точки з нульовою відміткою, що формує односпилу форму гіпара з вираженою поздовжньою кривиною [6]. (Рис. 2)

Кожен ряд сітки має постійний крок у плані, а координата Z змінюється відповідно до поверхні гіпара. Поверхня є гладкою, без переломів, і має змінну кривину, що відповідає реальній формі покриття.

Завдяки регулярній структурі сітки забезпечено можливість коректного формування трьох конструктивних варіантів які суттєво відрізняються за механізмом роботи дерев'яних поверхонь: варіант 1 – суцільна дерев'яна оболонка; варіант 2 – дерев'яний ребристий каркас з елементами вздовж ліній сітки; варіант 3 – комбінована оболонка з додатковими підсилювальними ребрами (діагональні та контурні).

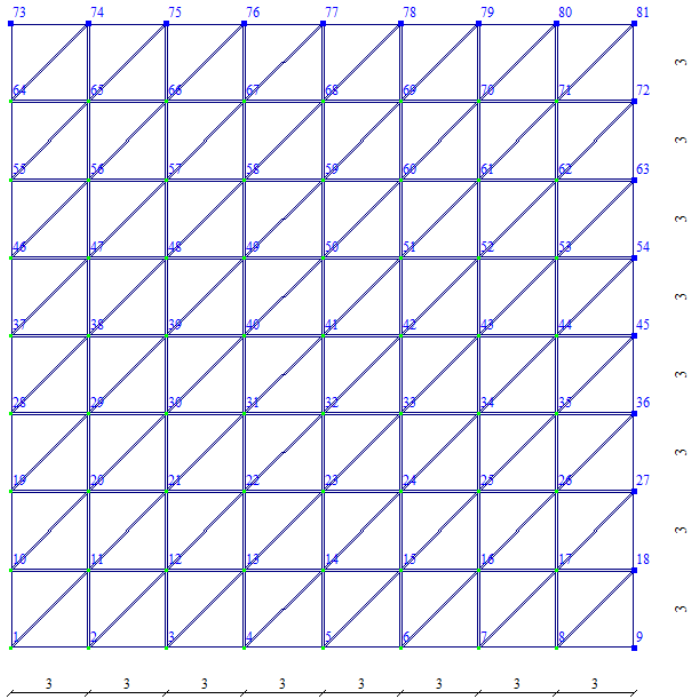


Рис. 2. Сітка вузлів поверхні

Суцільна дерев'яна оболонка. У цьому варіанті геометрія поверхні використовується без змін. Оболонка формується із тонких панелей, що повністю повторюють форму гіпара. Товщина моделі приймається рівномірною по всій поверхні.

Дерев'яний ребристий каркас [8]. Ребриста система формується із:

- поздовжніх стрижневих елементів уздовж осі Y,
- поперечних елементів уздовж осі X,
- контурних підсилювальних елементів.

Усі вузли ребер збігаються із вузлами поверхні оболонки, що забезпечує коректну геометричну сумісність.

Комбінована система «оболонка + ребра» [9]. У цьому варіанті використовується та сама поверхня, що й у суцільній оболонці, але додатково вводяться підсилювальні ребра:

- по контуру;
- уздовж головної діагоналі (з'єднання вузлів 1-81);
- без поперечного ребра між вузлами 9-73, оскільки його немає у реальній конструкції.

Підсилювальні елементи розташовані вздовж ліній найбільшої

кривини та ділянок потенційного згину, що підвищує просторову жорсткість.

Граничні умови встановлені на всі вузли, що мають координату $Z = 0$. Це забезпечує:

- повне закріплення лінійних переміщень ($X = Y = Z = 0$),

Такий тип закріплення відтворює фізичні умови роботи покриття, де опори не створюють жорсткого защемлення, а лише обмежують переміщення.

У розрахунку застосовано базові рівномірні навантаження:

- власна вага конструкції (автоматично через матеріал і товщину),
- експлуатаційне навантаження,
- вітрове навантаження (за спрощеною схемою, як вертикальна складова).

Навантаження прикладалося однаково до всіх трьох варіантів, що забезпечує коректне порівняння результатів. (Рис. 3)

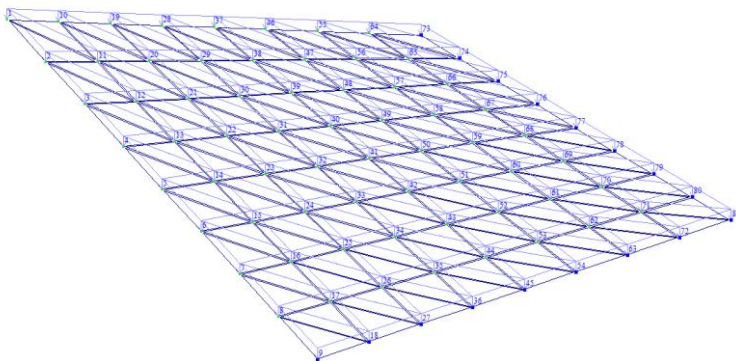


Рис. 3. Схема прикладання навантаження

Методика розрахунку базується на детальному скінченно-елементному моделюванні трьох варіантів дерев'яних конструкцій у формі гіпару з однаковою геометрією та граничними умовами [1; 6]. Аналіз проводився у програмному комплексі ЛІРА-САПР, який забезпечує широкі можливості для розрахунку тонкостінних оболонок, просторових стрижневих систем та комбінованих конструкцій [3].

Моделювання виконувалося з дотриманням структурної ідентичності для всіх варіантів, змінювалися лише типи елементів і їхня конструктивна взаємодія [7]. Це дозволяє коректно порівнювати жорсткість, напружений стан та несучу здатність дерев'яних систем [1].

Геометрія моделі сформована на основі координат вузлів, отриманих із реального покриття, апроксимованого поверхнею гіпару розміром 24×24

м. Для побудови сітки застосовано 9×9 вузлів з кроком 3 м, що забезпечує регулярну структуру скінченних елементів.

Така сітка дозволяє формувати оболонкові елементи (варіант 1 і частково варіант 3), формувати стрижневі елементи вздовж ліній сітки (варіант 2), розташовувати додаткові діагональні ребра (варіант 3).

У моделюванні використано такі типи СЕ:

Варіант 1 - Суцільна дерев'яна оболонка. Тип СЕ: плоскі оболонкові елементи (аналог Q4 / S4R), товщина приймалася сталою по всій поверхні (40 мм), модуль пружності та міцнісні характеристики відповідають CLT/LVL [6].

Оболонка працює переважно у мембранному режимі, тому тип елемента забезпечує коректне відтворення мембранно-згинальної роботи.

Варіант 2 – Дерев'яний ребристий каркас. Тип СЕ: стрижневі елементи із шарнірним сполученням за обертаннями, ребра розташовані уздовж осей X та Y та по периметру контура. Обшивка у моделі не бере участі у несучій здатності (огороджувальна функція). Модель працює як просторова стрижнева система [8].

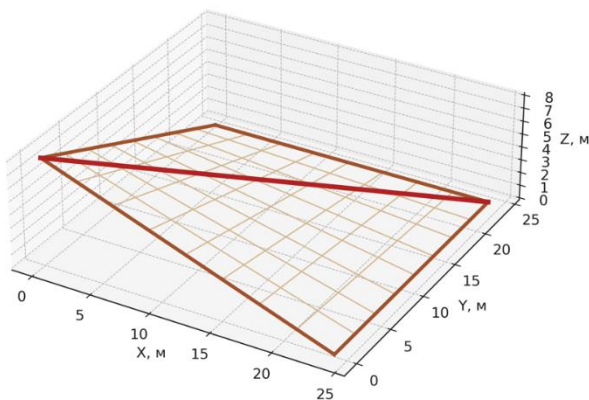


Рис. 4. Схема комбінованої дерев'яної оболонки + ребра

Варіант 3 - Комбінована дерев'яна оболонка + ребра (Рис. 4). Одночасне використання тонкої оболонки (30 мм), підсилювальних стрижневих ребер. Ребра розташовані по всьому контуру, уздовж головної діагоналі (вузли 1-81). Цей варіант забезпечує сумісну мембранно-згинальну роботу [9].

Усі вузли з координатою $Z = 0$ отримують граничні умови:

- $X = 0$,
- $X = 0$,
- $Z = 0$,

Такий тип закріплення відповідає фізичній роботі конструкції, коли поверхня спирається на закладні деталі або опорний периметр без жорсткого защемлення.

Для CLT/LVL оболонки та стрижневих ребер застосовано узгоджені матеріальні властивості:

модуль пружності вздовж волокон: $E = 13000$ МПа, модуль пружності поперек волокон: $E_t = 500$ МПа, коефіцієнт Пуассона: $\nu = 0,15$, густина: $\rho = 500$ кг/м³.

Для оболонки використовували ізотропні еквівалентні властивості (стандартний підхід до чисельного моделювання CLT).

Для ребер використовували анізотропні властивості або замінювали на еквівалентні ізотропні (залежно від типу LVL).

Для порівняння трьох варіантів застосовано однакову систему навантаження:

1. Власна вага конструкції (автоматично через параметри матеріалу).
2. Експлуатаційне навантаження (рівномірно розподілене по всій поверхні).
3. Вітрове навантаження - приведенне як вертикальна складова, що діє на покриття.

Стійкість аналізується у двох режимах: лінійна втрата стійкості - визначення коефіцієнта λ_{cr} ; форми втрати стійкості - отримання власних форм деформацій.

ЛІРА-САПР дозволяє визначити домінуючу форму втрати стійкості для кожної моделі, що є критично важливим для конструкцій змінної кривини.

Для достовірності результатів: усі варіанти використовують одну і ту саму вузлову сітку, моделі відрізняються лише типами елементів і товщиною оболонки, граничні умови та навантаження повністю ідентичні.

Такий підхід забезпечує коректне порівняння трьох конструктивних систем та дозволяє оцінити їхню жорсткість, прогини, напружений стан і стійкість [3].

Результати розрахунків. Наведено результати скінченно-елементного моделювання трьох дерев'яних конструктивних варіантів поверхні у формі гіпару [7]. Аналіз охоплює напружено-деформований стан, переміщення та загальну стійкість. Для всіх моделей застосовано

однакові геометричні дані, навантаження та граничні умови - повне обмеження лінійних переміщень вузлів контуру.

Це дає можливість безпосередньо порівняти жорсткість, напруження та стійкість різних конструктивних схем дерев'яної поверхні гіпара.

У суцільній дерев'яній оболонці домінує мембранна робота. Максимальні напруження $\sigma_{\max}$ концентруються у зоні переходу піднятого кута до нижньої частини поверхні. Значення $\sigma_{\max}$ становлять 11 МПа, що відповідає допустимим межам для CLT/LVL при згині та розтягу вздовж волокон.

Розподіл напружень плавний, без локальних піків, що свідчить про ефективність геометрії гіпара та рівномірну передачу навантаження [9].

У ребристій системі напруження зосереджуються у стрижневих елементах. Максимальні $\sigma_{\max}$ знаходяться у ділянках прикріплення до піднятого кута та вздовж поздовжніх ребер. Значення становлять 13 МПа.

На відміну від оболонки, елементи зазнають значно більших згинальних моментів. Напружений стан є менш рівномірним, а піки напружень більш виражені.

Комбінована система демонструє оптимальний характер напружень. Оболонка несе мембранні зусилля, а діагональні ребра частково знімають згинальні моменти. Максимальні $\sigma_{\max}$ мають проміжні значення – 12 МПа, без критичних концентрацій.

Підсилювальні діагональні та контурні елементи ефективно перерозподіляють навантаження та зменшують локальні піки.

Переміщення та прогини

Суцільна дерев'яна оболонка. Максимальні вертикальні прогини $f_{\max}$ становлять 22 мм. Найбільші переміщення локалізуються поблизу центру поверхні, де оболонка працює у мембранно-згинальному режимі.

Дерев'яний ребристий каркас. Прогини для каркасної системи є найбільшими серед трьох варіантів. Значення $f_{\max}$ сягають 30 мм, що зумовлено низькою просторовою жорсткістю стрижневої структури та відсутністю мембранної роботи.

Комбінована система «оболонка + ребра». Комбінований варіант забезпечує найменші прогини – 11 мм, завдяки спільній роботі тонкої оболонки та підсилювальних стрижневих елементів.

Діагональні ребра, розташовані уздовж головної лінії кривини (1–81), ефективно зменшують деформації у центральній частині поверхні.

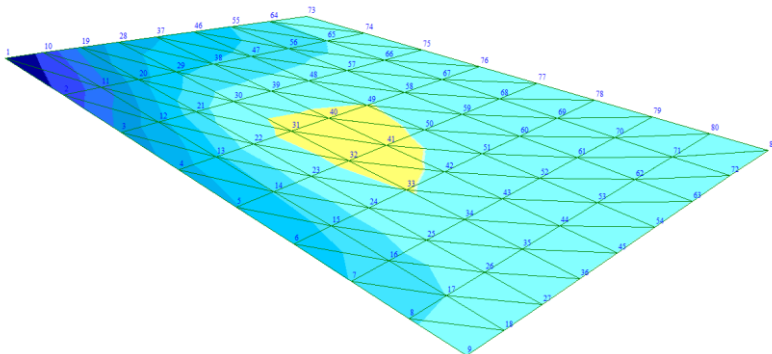


Рис 4. Ізополя вертикальних переміщень

Стійкість конструкції. Суцільна дерев'яна оболонка. Критичний коефіцієнт стійкості λ_{cr} становить 2,3, що вказує на достатню стійкість для тонкої оболонки з невеликим підйомом кута.

Ребристий варіант має найнижчий λ_{cr} - 2,1, через значну гнучкість системи та меншу здатність чинити опір позаплощинним переміщенням.

Комбінована схема демонструє найвищий коефіцієнт стійкості - 3,6. Підсилювальні елементи працюють як просторовий стабілізуювальний каркас, що значно підвищує опір втраті стійкості.

Таблиця 1 - Порівняння результатів розрахунків трьох варіантів дерев'яних конструкцій

Варіант	σ_{max} , МПа	f_{max} , мм	λ_{cr}	Характеристика
1. Суцільна дерев'яна оболонка	11	22	2,2	Рівномірна робота, помірні прогини
2. Дерев'яний ребристий каркас	13	30	2,1	Найнижча жорсткість
3. Комбінована оболонка + ребра	12	11	3,6	Найкраща жорсткість і стійкість

Результати розрахунків свідчать, що конструктивна поведінка поверхні гіпара суттєво залежить від прийнятої структурної схеми. Комбінована система демонструє найкраще співвідношення жорсткості, стійкості та рівня напружень, тоді як ребристий варіант є найменш ефективним. Суцільна дерев'яна оболонка займає проміжну позицію, забезпечуючи задовільні показники при простішій конструктивній схемі.

Висновки

У роботі виконано чисельне дослідження трьох конструктивних варіантів дерев'яної поверхні гіпара, що апроксимує форму покриття Літнього театру в місті Києві. Аналіз проведено у програмному комплексі ЛІРА-САПР із використанням ідентичної вузлової сітки, однакових навантажень і граничних умов для порівняння конструктивної ефективності систем. Основні висновки такі.

1. Геометрія гіпара є ефективною для дерев'яних конструкцій, оскільки забезпечує роботу поверхні переважно у мембранному режимі, що дозволяє зменшити матеріаломісткість при збереженні високої жорсткості.

2. Суцільна дерев'яна оболонка демонструє рівномірний напружений стан і помірні прогини (22 мм). Вона забезпечує достатню несучу здатність, але поступається за стійкістю комбінованому варіанту.

3. Дерев'яний ребристий каркас має найбільші прогини (30 мм) і найнижчий коефіцієнт стійкості λ_{cr} (2,1). Результати показують, що один лише каркас без участі оболонки не забезпечує достатньої просторової жорсткості для покриття типу гіпар.

4. Комбінована система «оболонка + ребра» є найбільш ефективною среди трьох варіантів. Вона має: найменші прогини (10–12 мм), найвищу стійкість ($\lambda_{cr} = 3,4\text{--}3,8$), оптимальний розподіл напружень без локальних концентрацій.

5. Комбінований варіант доводить переваги інтеграції оболонки з підсилювальними елементами: ребра приймають згинальні моменти і стабілізують конструкцію, тоді як оболонка ефективно сприймає мембранні зусилля.

6. Отримані результати підтверджують, що дерев'яні конструкції форми гіпара є перспективним рішенням для легких покриттів, сценічних та виставкових споруд, де важливо забезпечити просторову жорсткість, архітектурну виразність і зменшення ваги конструкції.

7. Найкращим рішенням для реконструкції або нового будівництва подібних об'єктів є комбінована дерев'яна оболонка з діагональним та контурним підсиленням, оскільки вона забезпечує найвищу несучу здатність при мінімальній товщині та масі.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший,

який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Shvabiuk, V. I., & Rotko, S. V. (2015). *Linear deformation, strength and stability of composite shells of medium thickness*. Lutsk: RVV LNTU.
2. Babych, Y. M., Andriichuk, O. V., Uzhehov, S. O., Pasichnyk, R. V., & Kysliuk, D. Y. (2019). Determination of stresses in thin-walled steel fiber reinforced concrete roofs in the form of hyperbolic paraboloid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708, Article 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012042>
3. Pasichnyk, R., Pasichnyk, O., Uzhegova, O., Andriichuk, O., & Bondarskii, O. (2020). Calculation optimization of complex shape shells by numerical method. In V. Ivanov et al. (Eds.), *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II (DSMIE 2019)* (pp. 643–652). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_64
4. Robeller, C., & von Haaren, N. (2020). Recycleshell: Wood-only shell structures made from cross-laminated timber (CLT) production waste. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 61(2), 125–139. <https://doi.org/10.20898/j.iass.2020.204.045>
5. Arnold, M., Dietsch, P., & Winter, S. (2023, June 19–22). *Hyperbolic paraboloid shells made of diagonal laminated timber elements*. In *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023)*, Oslo, Norway.
6. Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (2014). *Shell structures for architecture: Form finding and optimization*. Routledge.
7. Nguyen, T. T., Stangier, M., & Torero, J. (2021). Numerical assessment of CLT shell structures under mechanical loading. *Engineering Structures*, 234, 111977. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111977>
8. Gelber, A., & Barber, D. (2019). Structural performance of timber gridshells: A review. *Construction and Building Materials*, 227, 116660. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116660>
9. Glymph, J., Shelden, D., Ceccato, C., Mussel, J., & Schober, H. (2004). A parametric strategy for free-form glass structures using quadrilateral grids. *Automation in Construction*, 13(2), 187–202.

Література

1. Шваб'юк, В. І., & Ротко, С. В. (2015). *Лінійне деформування, міцність і стійкість композитних оболонок середньої товщини*. Луцьк: РВВ ЛНТУ.
2. Babych, Y. M., Andriichuk, O. V., Uzhehov, S. O., Pasichnyk, R. V., & Kysliuk, D. Y. (2019). Determination of stresses in thin-walled steel fiber reinforced concrete roofs in the form of hyperbolic paraboloid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708, Article 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012042>
3. Pasichnyk, R., Pasichnyk, O., Uzhegova, O., Andriichuk, O., & Bondarskii, O. (2020). Calculation optimization of complex shape shells by numerical method. In V. Ivanov et al. (Eds.), *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II (DSMIE 2019)* (pp. 643–652). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_64
4. Robeller, C., & von Haaren, N. (2020). Recycleshell: Wood-only shell structures made from cross-laminated timber (CLT) production waste. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 61(2), 125–139. <https://doi.org/10.20898/j.iass.2020.204.045>
5. Arnold, M., Dietsch, P., & Winter, S. (2023, June 19–22). *Hyperbolic paraboloid shells made of diagonal laminated timber elements*. In *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023)*, Oslo, Norway.
6. Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (2014). *Shell structures for architecture: Form finding and optimization*. Routledge.
7. Nguyen, T. T., Stangier, M., & Torero, J. (2021). Numerical assessment of CLT shell structures under mechanical loading. *Engineering Structures*, 234, 111977. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111977>
8. Gelber, A., & Barber, D. (2019). Structural performance of timber gridshells: A review. *Construction and Building Materials*, 227, 116660. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116660>
9. Glymph, J., Shelden, D., Ceccato, C., Mussel, J., & Schober, H. (2004). A parametric strategy for free-form glass structures using quadrilateral grids. *Automation in Construction*, 13(2), 187–202.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 18.11.2025	Received 18.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

R.V. Pasichnyk*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-1269>
Department of Construction and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska Str., Lutsk, Ukraine, 43016

A.P. Pavliuk

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3958-0519>
Department of Highways, Bases and Foundations
National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna Str., Rivne, Ukraine, 33028

S. V. Rotko

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1860-7890>
Department of Construction and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska Str., Lutsk, Ukraine, 43016

*corresponding author, e-mail: rpasichnik@gmail.com

Wooden structures in the form of a hypar: modeling, analysis, and comparison of three structural variants

How to Cite:

Pasichnyk, R. V., Pavliuk, A. P., & Rotko, S. V. (2025). Wooden hypar structures: modelling, analysis and comparison of three structural configurations. *Modern Technologies and Calculation Methods in Building*, 24, 293-307. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-24](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-24)

Abstract. The article investigates the spatial behavior of wooden structural systems shaped as a hypar, using the roof of the Summer Theater in Kyiv as a case study. The geometric model of the roof was constructed by approximating the real form with a hyperbolic paraboloid surface, which made it possible to accurately represent the curvature and ensure the adequacy of subsequent numerical analysis. The calculations were performed using the finite element method in the LIRA-SAPR software, taking into account geometric nonlinearity, the specific spatial behavior of wood, and the influence of the curved form on the stress–strain state.

Three structural configurations were analyzed: a solid wooden shell, a ribbed frame composed of intersecting curved elements, and a combined system of the “shell + ribs” type. For each configuration, stress fields, displacements, and buckling modes were obtained, and the deformation behavior under identical boundary conditions was evaluated. A comparison of the stress state in the directions of the principal curvatures, an analysis of out-of-plane deformation behavior, and an assessment of the influence of rib elements on the redistribution of internal forces were performed.

The results show that the combined wooden system provides the smallest deflections (10–12 mm), the highest buckling coefficient ($\lambda_{cr} = 3.4–3.8$), and a uniform stress distribution across the surface. The solid shell exhibits stable membrane behavior and moderate displacements but is sensitive to local buckling phenomena. The ribbed frame demonstrates the largest deflections, reduced stiffness, and a non-uniform distribution of internal forces, which limits its independent application without additional reinforcement. It is shown that combining a thin wooden shell with spatial stiffening ribs is the most effective solution for lightweight roofs of complex geometry, ensuring an optimal balance of stiffness, stability, and material efficiency.

Keywords: deformability, stresses, compression, bending element, hypar, wooden shell, ribbed frame, combined system.

УДК 624:011

О. А. Пахолук*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0650-6446>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

* автор-кореспондент, e-mail: orest.pakholiuk@gmail.com

Забезпечення якості виконання будівельно-монтажних робіт при покращенні енергоефективності будівель

Цитувати як:

Пахолук, О.А. (2025). Забезпечення якості виконання будівельно-монтажних робіт при покращенні енергоефективності будівель. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 308-316. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-25)

© 2025, Пахолук О.А.

Статтю присвячено аналізу якості виконання одного з ключових заходів з термомодернізації будівель – утеплення трубопроводів системи опалення. Актуальність теми зумовлена тим, що житловий сектор України споживає близько 30% енергії, а його системи теплопостачання переважно перебувають у незадовільному стані. Підвищення енергоефективності через модернізацію є питанням національної енергобезпеки. Лівова частка проектів реалізується через програму «ЕНЕРГОДИМ» Фонду енергоефективності (з 2019 р.), яка співфінансується IFC та GIZ і покриває 40-70% витрат ОСББ. Станом на листопад 2025 р. завершено 404 проекти, що вимагає ретельного контролю якості інвестицій. Актуальність підтверджена прийняттям у липні 2025 р. Державної цільової програми термомодернізації до 2030 р.

Встановлено, що утеплення трубопроводів у неопалюваних приміщеннях (підвали, техпідпілля, горища) є високоокупним заходом. Водночас, навіть при його виконанні фіксується низка суттєвих недоліків. Однією з причин є різке зменшення кваліфікованих виконавців через захист Вітчизни. У роботі проаналізовано специфіку, переваги та недоліки ключових теплоізоляційних матеріалів (спінений каучук, спінений поліетилен, пінополіуретан, пінополістирол, мінеральна вата).

На основі аудитів систематизовано п'ять типових дефектів: неізольований торець утеплювача; неякісно ізольований утеплювач (азори, нецільне прилягання); ізоляція невідповідними матеріалами; ушкодження ізоляції при монтажі; ізоляція матеріалами невідповідної (недостатньої) товщини. Показано, що перші чотири дефекти виникають через небалість та незнання технології і усуваються контролем. П'ятий дефект пов'язаний з незнанням норм ДБН. Окремо висвітлено проблему подальшого механічного ушкодження теплоізоляції (котами, птахами) та запропоновано методи захисту (обмеження доступу, монтаж захисних кожухів – ПВХ, алюміній, склопластик).

Утеплення трубопроводів є важливим етапом. Галузь відчуває гостру нестачу кваліфікованих кадрів. Більшість виявлених недоліків можна легко усунути

шляхом ретельнішого контролю та детального ознайомлення виконавців з технологією робіт і нормативними документами.

Ключові слова: термомодернізація, енергоефективність, якість робіт, утеплення систем теплопостачання.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Загальною підставою для підвищення енергоефективності будівель і населених пунктів є докорінна модернізація їх систем теплопостачання і теплоспоживання. В Україні вони є одними з найбільших споживачів енергоресурсів, а отже, містять значні резерви підвищення енергоефективності [1].

В цілому житловий сектор України складає близько 30% споживання енергії. Тому термомодернізація дозволить підвищити енергобезпеку країни, а це сьогодні надважливо.

Житловий фонд та його системи централізованого теплопостачання у значному обсязі перебувають у незадовільному стані [2]. Тому їх модернізація та приведення у відповідність діючим нормам є актуальними та важливими завданнями на сучасному етапі.

Лівова частка модернізованих будівель була виконана в рамках програми «ЕНЕРГОДІМ» Фонду енергоефективності, яка діє з 2019 р. Ця програма «передбачає часткове відшкодування витрат на заходи з енергоефективності у розмірі від 40 до 70%. Ці кошти ОСББ можуть задіяти на встановлення індивідуального теплового пункту, балансування гідравлічної системи будівлі, теплоізоляцію трубопроводів у неопалюваних приміщеннях, теплоізоляцію стін, дахів і підвальних перекриттів, заміну дверей і вікон у місцях загального користування. Програма реалізується у співпраці з Міжнародною фінансовою корпорацією (IFC) та Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH» [3].

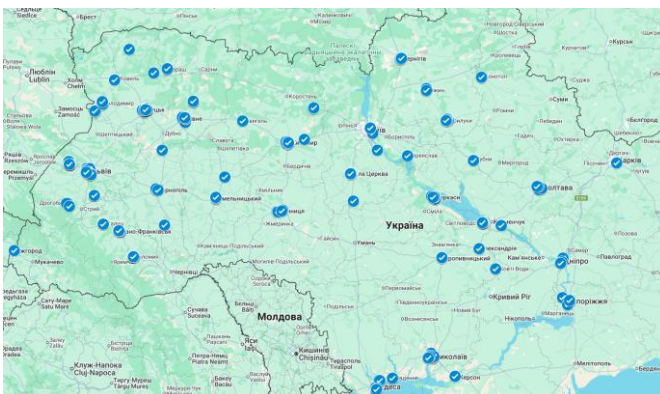


Рис. 1. Завершені проекти термомодернізації за Програмою «ЕНЕРГОДІМ» Фонду енергоефективності [4]

Станом на 07.11.2025 р. Фондом було отримано 1260 заявок, з них 404 проекти модернізації уже завершені [5]. Зважаючи на значну суму інвестицій важливим є дотримання необхідних норм при виконанні робіт, а також загальні питання якості виконання заходів.

Мета статті – проаналізувати якість виконання утеплення трубопроводів системи опалення, визначити умови та чинники, що призвели до виникнення браку, систематизувати базові недоліки та запропонувати рішення по їх усуненню.

Матеріали та методи

У роботі використовуються матеріали проведення енергетичних аудитів та верифікації об'єктів, що пройшли термомодернізацію. Також використано матеріали нормативних документів і законодавства України, сучасні методики виконання утеплювальних робіт.

Результати та обговорення

Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» визначає термомодернізацію будівель як «комплекс робіт, спрямованих на підвищення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівель, показників споживання енергетичних ресурсів інженерними системами та забезпечення енергетичної ефективності будівель на рівні не нижчому, ніж встановлено мінімальними вимогами щодо енергетичної ефективності будівель, що здійснюється під час виконання робіт з реконструкції, капітального чи поточного ремонту будівель або робіт, які не потребують документів, що дають право на їх виконання, та після закінчення яких об'єкт не підлягає прийняттю в експлуатацію» [6]. На підтвердження високої актуальності у липні 2025 р. була прийнята Державна цільова економічна програма підтримки термомодернізації будівель до 2030 року [7].

Одним із високоокупних заходів є утеплення трубопроводів системи опалення у приміщеннях з низькими температурами (підвал, техпідпілля, горище). У той же час, навіть при виконанні такого досить нескладного заходу, є низка суттєвих недоліків, які зустрічаються на різних об'єктах навіть у перевірених підрядників. На жаль, різке зменшення кваліфікованих виконавців, пов'язане із захистом Вітчизни, теж не приєє підвищенню якості робіт.

Стан існуючих трубопроводів дуже різний, у багатьох випадках теплоізоляція відсутня, недостатня або суттєво ушкоджена (рис. 2). Тому для якісного збереження тепла критично важливо забезпечити відповідну товщину і якість утеплювача. У табл. 1. Перелічено основні види теплоізоляційних матеріалів для трубопроводів, їх переваги та недоліки. Усі вони мають певну специфіку монтажу та особливості застосування.

Таблиця 1. Переваги та недоліки матеріалів для теплоізоляції

№ з/п	Матеріал	Переваги	Недоліки
1	Спінений каучук	Висока гнучкість, водостійкість, довговічність	-
2	Спінений поліетилен	Гнучкість, водостійкість	-
3	Пінополіуретан	Безшовність, висока адгезія, монолітність структури, екологічність	Низька вологостійкість і міцність
4	Пінополістирол (пінопласт)	Висока міцність і вологостійкість	-
5	Мінеральна вата	Висока робоча температура і вогнестійкість	Слабка водостійкість і міцність

Розглянемо найпоширеніші недоліки при теплоізоляції трубопроводів (табл. 2).



Рис. 2. Стан значної кількості існуючих трубопроводів

Таблиця 2. Типові дефекти при утепленні

	Дефект 1: Неізолюваний торець утеплювача
	Дефект 2: Неякісно ізолюваний утеплювач
	Дефект 3: Ізоляція невідповідними матеріалами
	Дефект 4: Ушкодження ізоляції при монтажі
	Дефект 5: Ізоляція матеріалами невідповідної товщини

Як видно із табл. 2, дефекти 1-4 виникають, в основному, через недбалість виконавців і, можливо, через незнання технології. Тому вони легко усуваються контролем за виконанням робіт. Дефект 5 належить,

швидше, до незнання норм на утеплення. Цей дефект теж нескладно усунути, вивчивши вимоги діючих норм [8]. Мінімальна товщина теплоізоляції трубопроводів наведена у таблиці Б.1 і залежить від внутрішнього діаметра труби.

Таблиця Б.1 - Мінімальна товщина шару теплоізоляції трубопроводів систем опалення, внутрішнього теплопостачання, охолодження, внутрішнього холодопостачання, холодного та гарячого водопостачання (окрім побутового)

Номер з/п	Трубопровід	Мінімальна товщина шару теплоізоляції теплопровідністю 0,035 Вт/(м·К) при перепаді температури 40 °С
1. Базові показники товщини шару теплоізоляції трубопроводу		
1.1	Трубопровід із внутрішнім діаметром до 22 мм	20 мм
1.2	Трубопровід із внутрішнім діаметром від 22 мм до 35 мм	30 мм
1.3	Трубопровід з внутрішнім діаметром від 35 мм до 100 мм	Дорівнює внутрішньому діаметру
1.4	Трубопровід з внутрішнім діаметром більше ніж 100 мм	100 мм

Рис. 3. Таблиця Б.1. ДБН В.2.5-67:2013 [8]



Рис. 4. Приклад якісного утеплення трубопроводів та фланцевої арматури

Однак, навіть за якісного виконання робіт існує небезпека механічного ушкодження теплоізоляції. Цьому сприяють коти та птахи (в основному голуби), які нищать утеплювач. Тому доступ тварин та птахів у місця розташування комунікацій необхідно жорстко обмежувати.



Рис. 5. Ушкодження шару утеплювача

Для покриття та обгортання (механічного захисту) теплоізоляції труб використовують такі матеріали :

- пластик (PVC)
- алюміній
- листове залізо
- листове залізо з покриттям
- кожух із нержавіючої сталі
- покрівельний руберойд
- склопластик РСТ
- склотканини, вкриті алюмінієвою фольгою



Рис. 6. Механічний захист утеплювача

Висновки

На основі проведеного аналізу можемо зробити такі висновки.

1. Утеплення трубопроводів системи опалення в приміщеннях, що не опалюються, є важливим етапом термомодернізації.
2. На даний момент галузь відчуває велику нестачу кваліфікованих працівників.
3. Основні недоліки при утепленні можуть бути доволі легко усунуті ретельнішим контролем і детальнішим ознайомленням із технологією виконання робіт та нормативними документами.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Авторами статті публічно підтверджується, що дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Peredovi systemy termomodernizatsii budivel i sporud. Navch. kurs «Peredovi systemy termomodernizatsii budivel i sporud» z prof. «Montazhnyk system uteplennia budivel» : navch. posib. / Nadiia Ivolzhatova, Tetiana Drimko, Taras Kholevan ta in. Kyiv : Vydavnychiy dim «Helvetyka», 2020. 116 s.
<https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/news/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2020/10/27/Thermal%20modernization.pdf>.
2. Propozytzii shchodo termomodernizatsii zhytlovoho fondu i vidnovlennia tsentralizovanoho teplopostachannia v Ukraini v povoiennyi period. Analitychna zapyska // Naukovo-doslidnyi tsentr industrialnykh problem rozvytku NAN Ukrainy, 2023. 19 c. URL: <https://ndc-ipr.org/analytics/>.
3. Pro Fond enerhoefektyvnosti <https://eefund.org.ua/pro-fond/>.
4. Karta uchashnykiv Prohramy «ENERHODIM» URL: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1iRqsX3wYyhNMuJWezKdxP5vNYRNSuURM&fb=1&ll=49.2549260343062%2C30.129968091644585&z=7>
5. Zvedena potochna informatsiia "ENERHODIM" <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1iRqsX3wYyhNMuJWezKdxP5vNYRNSuURM&fb=1&ll=49.2549260343062%2C30.129968091644585&z=7>.
6. ZAKON UKRAINY Pro enerhetychnu efektyvnist budivel <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19/ed20170622/sp:side:max25#n2>
7. Derzhavna tsilova ekonomichna prohrama pidtrymky termomodernizatsii budivel do 2030 roku. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/694-2025-%D1%80#n69>.
8. DBN V.2.5-67:2013 Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia.

Література

1. Передові системи термомодернізації будівель і споруд. Навч. курс «Передові системи термомодернізації будівель і споруд» з проф. «Монтажник систем утеплення будівель» : навч. посіб. / Надія Іволжатова, Тетяна Дрімко, Тарас Холеван та ін. Київ : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 116 с.
<https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/news/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2020/10/27/Thermal%20modernization.pdf>
2. Пропозиції щодо термомодернізації житлового фонду і відновлення централізованого теплопостачання в Україні в повоєнний період. Аналітична записка // Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України, 2023. 19 с. URL: <https://ndc-ipr.org/analytics/>
3. Про Фонд енергоефективності <https://eefund.org.ua/pro-fond/>
4. Карта учасників Програми «ЕНЕРГОДІМ» URL: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1iRqsX3wYyhNMuJWezKdxP5vNYRNSuURM&fb=1&ll=49.2549260343062%2C30.129968091644585&z=7>
5. Зведена поточна інформація "ЕНЕРГОДІМ" <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1iRqsX3wYyhNMuJWezKdxP5vNYRNSuURM&fb=1&ll=49.2549260343062%2C30.129968091644585&z=7>
6. ЗАКОН УКРАЇНИ Про енергетичну ефективність будівель <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19/ed20170622/sp:side:max25#n21>
7. Державна цільова економічна програма підтримки термомодернізації будівель до 2030 року. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/694-2025-%D1%80#n69>
8. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 20.11.2025	Received in revised form 20.11.2025
Прийнято 20.11.2025	Accepted 20.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O. A. Pakholiuk*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0650-6446>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska, st., Lutsk 43018, Ukraine

*corresponding author, e-mail: orest.pakholiuk@gmail.com

Ensuring the quality of construction and installation work while improving the energy efficiency of buildings

How to Cite:

Pakholiuk O. A. (2025). Ensuring the quality of construction and installation work while improving the energy efficiency of buildings, 24, 308-316. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-25)

Abstract. The article is devoted to the analysis of the quality of implementation of one of the key measures for thermal modernization of buildings - insulation of heating system pipelines. The relevance of the topic is due to the fact that the residential sector of Ukraine consumes about 30% of energy, and its heat supply systems are mostly in unsatisfactory condition. Increasing energy efficiency through modernization is a matter of national energy security. The lion's share of projects is implemented through the "ENERGODIM" program of the Energy Efficiency Fund (since 2019), which is co-financed by IFC and GIZ and covers 40-70% of the costs of condominiums. As of November 2025, 404 projects have been completed, which requires careful control of the quality of investments. The relevance is confirmed by the adoption in July 2025 of the State Target Program for Thermal Modernization until 2030.

It has been established that insulation of pipelines in unheated premises (basements, technical undergrounds, attics) is a highly profitable measure. At the same time, even during its implementation, a number of significant shortcomings are recorded. One of the reasons is the sharp decrease in qualified performers due to the defense of the Fatherland. The paper analyzes the specifics, advantages and disadvantages of key thermal insulation materials (foam rubber, foam polyethylene, polyurethane foam, polystyrene foam, mineral wool).

Based on the audits, five typical defects are systematized: uninsulated end of the insulation; poorly insulated insulation (gaps, loose fit); insulation with unsuitable materials; damage to the insulation during installation; insulation with materials of unsuitable (insufficient) thickness. It is shown that the first four defects arise due to negligence and ignorance of the technology and are eliminated by control. The fifth defect is associated with ignorance of the DBN norms. The problem of further mechanical damage to thermal insulation (by cats, birds) is separately highlighted and protection methods are proposed (access restriction, installation of protective casings - PVC, aluminum, fiberglass).

Pipeline insulation is an important stage. The industry is experiencing an acute shortage of qualified personnel. Most of the identified shortcomings can be easily eliminated through more thorough control and detailed familiarization of the performers with the technology of work and regulatory documents.

Keywords: thermal modernization, energy efficiency, quality of work, insulation of heating systems.

УДК 727.14

Піліпака Н.В.

магістр,

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Пасічник О.С. *

Кандидат архітектури, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8381-0257>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Казмірук Ю.Й.

Заслужений архітектор України, доцент,

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: oxanapasicznyk@gmail.com

Інклюзивність при ревіталізації виробничих територій на прикладі мікрорайону «Чайка» у місті Рівному

Цитувати як:

Піліпака Н.В., Пасічник О.С., Казмірук Ю.Й. (2025). Інклюзивність при ревіталізації виробничих територій на прикладі мікрорайону «Чайка» у місті Рівному. *Сучасні технології а методи розрахунків у будівництві*, 24, 317-330. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-26](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-26)

© 2025, Піліпака Н.В., Пасічник О.С., Казмірук Ю.Й.

У цій статті представлена важливість інтеграції принципів інклюзивності на всіх етапах планування й реалізації проектів ревіталізації занедбаних, зокрема, постіндустріальних міських виробничих територій. Проаналізовано чинну українську нормативну базу у сфері інклюзивності, зокрема вимоги державних будівельних норм, а також актуальні політичні ініціативи, зокрема Національну стратегію із створення безбар'єрного простору до 2030 року.

Автори аналізують засади інклюзивності в урбаністичному контексті, висвітлюють українське нормативно-правове підтрунтя створення безбар'єрного середовища, а також досвід застосування принципів універсального дизайну, просторової доступності та соціальної справедливості у практиці ревіталізації.

У дослідженні наводяться приклади практичної реалізації інклюзивного підходу при ревіталізації міських територій в Україні (Львів, Київ) та за кордоном (Канада, Велика Британія), що дозволяє виокремити універсальні індикатори інклюзивності, такі як: фізична доступність, функціональна гнучкість, партисипативність та збереження культурної ідентичності. Автори також виокремлюють ключові виклики, серед яких – фрагментарність підходів, відсутність обов'язкового аналізу соціального впливу, формалізоване громадське обговорення.

Стаття формулює низку рекомендацій щодо адаптації інклюзивного підходу до українських реалій, зокрема через нормативне закріплення процедур

участі, розвиток інституційних механізмів підтримки, фінансові стимули до впровадження універсального дизайну.

Ключові слова: інклюзивність, доступність, ревіталізація, міський простір, універсальний дизайн, урбанізм, постіндустріальні території, безбар'єрність сталий розвиток.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Повномасштабна військова агресія російської федерації проти України, не лише загострила вже існуючі проблеми з доступністю інфраструктури (як фізичної, так і цифрової), але й спричинила появу нових потреб та викликів для різних суспільних груп [1, 2]. Ускладнений доступ до громадського транспорту та об'єктів фізичного оточення, об'єктів фонду захисних споруд, отримання інформації людьми з обмеженими можливостями, неадаптованість веб-сайтів та мобільних застосунків для всіх категорій громадян, нові бар'єри у доступі до освіти, роботи, а також суспільне несприйняття – це лише частина проблем, що постали перед українським суспільством. У цьому контексті, ревіталізація виробничих територій є не лише можливістю для відновлення економічного потенціалу міст, але й шансом для створення якісно нових, інклюзивних міських просторів, які б враховували потреби кожного члена суспільства.

В Україні поняття «інклюзивність» з'явилося наприкінці ХХ століття. У цей період, під впливом міжнародних документів та глобальних тенденцій у сфері прав людини, українське суспільство почало усвідомлювати важливість забезпечення рівних можливостей для всіх громадян, незалежно від їхніх особливостей. На законодавчому рівні, важливим кроком стала ратифікація Україною Конвенції ООН про права інвалідів 16 грудня 2009 року [3]. Кульмінацією зусиль у сфері створення безбар'єрного простору стала розробка та прийняття у 2021 році Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року. Ця стратегія охоплює різні аспекти безбар'єрності, включаючи соціальну, освітню, економічну, інформаційну, фізичну та цифрову [2]. Метою Стратегії є створення безперешкодного середовища для всіх суспільних груп та забезпечення рівних можливостей кожній людині реалізовувати свої права.

В Україні існує досить розгалужена законодавча та нормативна база у сфері доступності та інклюзивності, яка постійно вдосконалюється. Національна стратегія та відповідні ДБН є ключовими документами, що визначають вимоги до створення безбар'єрного середовища, у тому числі при ревіталізації виробничих територій [4, 5, 6, 9, 10, 11].

Українські дослідники визначають «інклюзивність територій» як багатогранне явище, що передбачає не лише фізичну доступність, але й

рівні можливості в економічній, соціальній, цифровій, інформаційній, політичній та культурній сферах [12, 13].

В українській науковій літературі інклюзивність територій розглядається в контексті інклюзивного розвитку, соціальної інклюзії та просторової справедливості. Дослідники пропонують конкретні моделі для її досягнення, зокрема: адміністративно-територіальні; партнерські; функціональні, галузеві; соціально-просторові [14].

У територіальних громадах інклюзивність визначається як наявність спільного середовища життєдіяльності мешканців [15]. Сучасне розуміння також включає створення умов, де різні групи людей (наприклад, з інвалідністю) можуть брати участь в одному й тому ж процесі. Це особливо актуально для України у контексті повоєнної відбудови, спричиненої збільшенням кількості людей з інвалідністю.

Дослідження потреб гуманізації урбанізованого середовища зосереджені на формуванні комфортного середовища для всіх груп населення. Теоретик містобудування О. Гутнов [16] підкреслював, що архітектура – це простір, організований відповідно до потреб людини. Г. Шостак [17] обґрунтувала містобудівні принципи формування безбар'єрного міського простору, включаючи створення спеціальних маршрутів для людей з обмеженою мобільністю.

Отже, аналіз стану дослідження інклюзивного міського розвитку в Україні свідчить про те, що наукова база з цього питання, хоча й активно розвивається, все ще перебуває на етапі становлення. Попри наявність теоретичних напрацювань, які створюють підґрунтя для гуманізації міського середовища, та запровадження певних нормативних вимог щодо безбар'єрності, комплексний та системний підхід до створення інклюзивного середовища, у тому числі до інклюзивної ревіталізації, на практиці ще не сформований. Дослідження питань інклюзії в урбаністичному контексті залишаються здебільшого фрагментарними. Водночас українські урбаністи дедалі більше уваги приділяють соціальним аспектам ревіталізації та важливості громадської участі. І важливо, що сама ревіталізація починає сприйматися не лише як трансформація колишніх промислових зон на креативні простори, а як багатогранний процес відновлення занедбаних міських територій, що набуває особливої актуальності в контексті повоєнного відновлення України. Таким чином, попри існуючі наукові «пазли», що окреслюють шляхи до створення цілісного та інклюзивного міського простору, українська урбаністика стоїть перед завданням інтеграції цих елементів у єдину, дієву стратегію інклюзивного розвитку.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є визначення значення інклюзивності у процесах ревіталізації виробничих територій, виокремити індикатори інклюзивності в містобудівних проєктах, сформулювати

практичні рекомендації щодо впровадження інклюзивних принципів у проектну практику.

Матеріали та методи

Створення інклюзивного середовища при ревіталізації виробничих територій має ґрунтуватися на низці теоретичних принципів, які визначають підходи до проектування міського простору, орієнтованого на потреби всіх користувачів.

Одним із фундаментальних принципів є гуманоцентризм, який передбачає, що архітектура та міський простір повинні бути організовані відповідно до потреб людини. Комфортне перебування людини в міському середовищі залежить від таких його якостей, як пізнаванність елементів міського простору [18]. Відкритий міський простір має бути придатним для всіх груп населення.

Важливу роль відіграють принципи Універсального Дизайну (Інклюзивного Дизайну). Цей підхід спрямований на усунення бар'єрів, що обмежують рівний доступ до різних сфер життя. Інклюзивність будівель та споруд має забезпечуватися фізичною можливістю і зручністю потрапляння та пересування об'єктом, прилеглою територією, отриманням послуг; фізичною безпекою; можливістю вільного отримання інформації; вільної навігації. Сучасний підхід до вирішення інклюзивних завдань повинен базуватися на основоположних принципах універсального дизайну, враховуючи соціальну, а не медичну модель адаптації людини, що має деякі особливості здоров'я [19].

Концепція доступності та безбар'єрності є ключовою для створення інклюзивного середовища. Доступність означає можливість для всіх людей, включаючи осіб з інвалідністю та інші маломобільні групи населення, безперешкодно користуватися об'єктами фізичного оточення, транспортом, інформацією та послугами. Безбар'єрне середовище передбачає усунення фізичних, комунікаційних, інформаційних та інших бар'єрів, що перешкоджають повноцінній участі людей у житті суспільства. Стандарти доступності повинні містити такі вимоги: можливість безперешкодного та легкого пересування для відвідувачів з обмеженою мобільністю в межах ділянки або послуг; вхід в будинок; доступ до дверей; безперешкодне пересування по шляхах сполучення, будинках і приміщеннях [4].

Теорії соціальної інклюзії наголошують на важливості створення умов, за яких кожна людина, незалежно від її походження, статі, віку, фізичного стану чи інших особистих характеристик, може брати активну участь у всіх сферах суспільства. Соціальна інклюзія в контексті міського середовища включає два рівні: доступність середовища, що зумовлює безперешкодне використання міського простору, та готовність до взаємодії груп населення одна з одною, соціальне визнання.

В Україні та світі існує низка прикладів успішної ревіталізації промислових територій з урахуванням принципів інклюзивності, які можуть слугувати натхненням та джерелом досвіду для майбутніх проєктів.

Одним із вітчизняних прикладів є майбутнє відкриття інклюзивного бібліотечного простору «Сенсотека» у Львові. Цей проєкт ревіталізації бібліотечного простору спрямований на створення зручних та комфортних умов для всіх мешканців міста, включаючи осіб з інвалідністю. Також у Львові триває ревіталізація вілли Стеткевича, яку планують перетворити на громадський простір з урахуванням принципів інклюзивності. У Києві існують плани щодо створення інклюзивних зон відпочинку на берегах річки Либідь, що передбачає облаштування сходів та пандусів для зручного користування прибережною зоною. Успішним прикладом якісної ревіталізації є «Арсенал» у Києві, який став приємним публічним простором. Архітектурна майстерня Drozdov & Partners демонструє інклюзивні інтер'єри житла для людей з інвалідністю у Львові.

Серед міжнародних прикладів варто відзначити проєкт Artscape Wychwood Barns у Торонто, Канада. Цей проєкт перетворення занедбаного промислового об'єкту на жвавий громадський центр включає 26 одиниць доступного житла та отримав сертифікат LEED Gold, демонструючи соціальну та екологічну інклюзивність. У Великій Британії успішними прикладами є ревіталізація території колишнього шпиталю в Грімсбі та створення міського селища Білстон в Вулвергемптоні на місці колишньої промислової зони. Ці проєкти підкреслюють важливість лідерства, партнерства та використання інструментів міського планування для досягнення успішної ревіталізації з урахуванням потреб громади.

Результати та обговорення

Таким чином, теоретичною основою для створення інклюзивного середовища при ревіталізації виробничих територій є поєднання принципів гуманоцентризму, універсального дизайну, доступності та соціальної інклюзії. Ці підходи передбачають проєктування міського простору з урахуванням потреб усіх потенційних користувачів, усунення бар'єрів та створення умов для їхньої повноцінної участі у житті громади.

Створення інклюзивного середовища при ревіталізації виробничих територій має численні переваги: •

Соціальні: Підвищення якості життя, забезпечення рівного доступу до інфраструктури та послуг, сприяння соціальній взаємодії, що особливо важливо для вразливих груп населення. •

Економічні: Сприяння залученню інвестицій, створенню нових робочих місць (зокрема для людей з інвалідністю), розвитку соціального підприємництва. •

Екологічні: Очищення забруднених територій, створення нових зелених зон, покращення екологічної ситуації

Ревіталізація міських територій, особливо колишніх промислових зон, є важливим інструментом для покращення якості міського середовища та створення нових можливостей для розвитку. Ревіталізація визначається як процес відновлення та переосмислення занедбаних міських територій з метою їхнього соціального, економічного та екологічного відродження. У контексті колишніх виробничих територій, ревіталізація може включати перетворення старих заводських будівель на житлові комплекси, офісні центри, культурні простори, парки або інші об'єкти, що відповідають сучасним потребам міста.

Процес ревіталізації виробничих територій відкриває унікальну можливість для впровадження принципів інклюзивності з самого початку проєктування. На відміну від реконструкції існуючих будівель та інфраструктури, де часто виникають складнощі з адаптацією до потреб маломобільних груп населення, ревіталізація дозволяє закласти інклюзивні рішення на етапі концепції та проєкту, що значно підвищує їхню ефективність та цілісність.

У контексті післявоєнного відновлення України, інклюзивна ревіталізація виробничих територій є важливим фактором відбудови міст. Створення доступного простору для всіх громадян, включаючи ветеранів з інвалідністю, є питанням соціальної справедливості та необхідною умовою їхньої реінтеграції.

Концепція ревіталізації промислової зони мікрорайону «Чайка» в м. Рівному, розроблена в рамках магістерської роботи, пропонує комплексний, багатофункціональний підхід до трансформації території колишньої виробничої зони (brownfield) у сучасний, соціально-відповідальний та екологічно-стійкий житлово-громадський простір з врахуванням вимог [2, 6, 8]. Ключовим рішенням є зміна функціонального призначення територій виробничого та транспортного призначення на житлово-громадську забудову. Це дозволяє відновити його економічну та соціальну активність. Передбачається будівництво нових кварталів житлової та громадської забудови, включаючи багатоквартирні житлові будинки та комплекси з вбудовано-прибудованими приміщеннями громадського призначення. Також виділяється територія для додаткової початкової школи та для інших об'єктів соціальної сфери (Рис. 1 та Рис. 2).

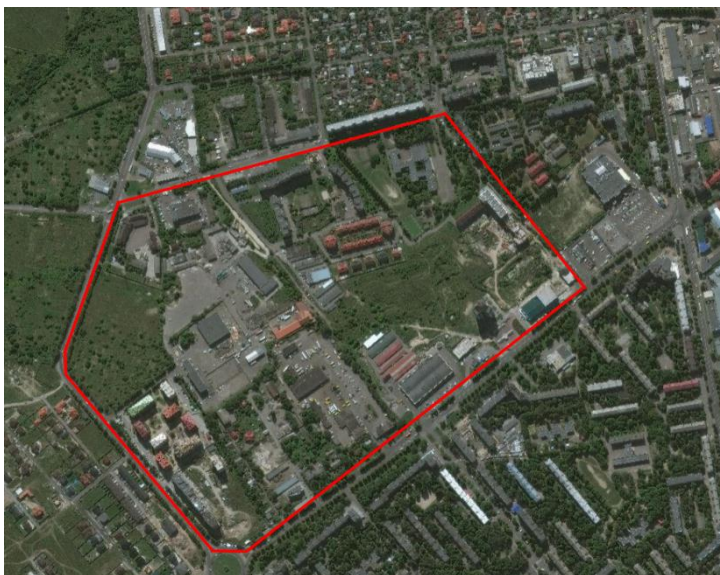


Рис. 1. Стан промислової зони мікрорайону «Чайка» м. Рівне



Рис. 2. Ревіталізація мікрорайону «Чайка» м. Рівне

Концепцією передбачається багатофункціональність території, що враховує потреби різних вікових, соціальних та професійних груп. Соціальна інклюзія передбачає не лише фізичну, але й економічну та

культурну участь усіх членів громади. Для забезпечення соціальної інклюзії та протидії джентрифікації, пропонується проектувати різноманітний житловий фонд, що включає як комерційне, так і доступне житло.

Для покращення мобільності заплановано доповнення вулично-дорожньої мережі новою вулицею, що з'єднає вулиці Василя Червонія та Гайдамацька. Акцент робиться на створенні раціональної системи озелених пішохідних шляхів, що забезпечують 15-хвилинну доступність об'єктів обслуговування.

Для забезпечення повної фізичної доступності для маломобільних груп населення (МГН) ключових пішохідних шляхів, що сполучають житлову забудову з об'єктами соціальної інфраструктури концепцією передбачається організація безбар'єрних маршрутів. Тротуари зі зустрічним рухом влаштовуються шириною не менше 1,8 м з позовжнім ухилом переважно до 5 %. На ділянках з більшим ухилом, влаштовуються зовнішні сходи і пандуси. Покриття шляхів має бути рівним і твердим. На перехрестях влаштовуються пониження тротуару і попереджувальна тактильна смуга (бордюрні пандуси). Влаштування зупинок громадського транспорту адаптованих для МГН. Максимально застосовуються принципи універсального дизайну: врахування базової ергономіки крісла колісного при проектуванні; входи в будівлі за можливості передбачаються у рівень з землею без влаштування ганку, або влаштування пандусу, підйомника за наявності сходів; контрастне маркування дверних отворів.

Ревіталізація промислових зон часто сприймається громадськістю як виключно комерційна діяльність. Однак насичення концепції елементами соціальної відповідальності, такими як включення доступного житла, виділення територій для об'єктів соціальної інфраструктури, створення публічних просторів з елементами дитячої, молодіжної, освітньої та рекреаційної інфраструктури або застосування інноваційних екологічних рішень, здатне покращити якість життя всіх мешканців і значно посилить підтримку місцевих мешканців проектів під час проходження громадських слухань.

Ці кейс-стаді демонструють, що ревіталізація виробничих територій з урахуванням принципів інклюзивності є не лише можливою, але й може призвести до створення якісно нових, привабливих та зручних міських просторів для всіх членів суспільства.

Ключові принципи інклюзивної ревіталізації.

1. Просторова доступність: фізичне усунення бар'єрів, наявність елементів універсального дизайну.

2. Функціональна гнучкість: багатофункціональність території, що враховує потреби різних вікових, соціальних та професійних груп.

3. Партисипативне планування: прозора система залучення громадян до ухвалення рішень.

4. Культурна ідентичність: збереження локальної історії та спадщини як джерела спільності.

5. Соціальна справедливість: запобігання витісненню вразливих груп у процесі оновлення територій (антиджентрифікаційні підходи).

На основі аналізу кейсів можна виділити такі індикатори:

- наявність рамп, тактильних доріжок, адаптованого громадського транспорту;
- врахування інтересів різних груп через соціологічні опитування;
- створення публічних просторів з елементами дитячої, молодіжної, освітньої та рекреаційної інфраструктури;
- інституційна підтримка (гранти, бюджети участі, муніципальні програми).

В Україні процеси ревіталізації часто носять точковий характер і переважно зосереджені на комерційній доцільності. Відсутність обов'язкового аналізу соціального впливу призводить до проєктів, що не відповідають критеріям інклюзивності. Необхідне нормативне закріплення процедур участі громадськості, запровадження обов'язкової соціальної оцінки проєктів, стимулювання універсального дизайну шляхом фінансових і податкових механізмів.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що інклюзивність є ключовим елементом у процесі ревіталізації міських виробничих територій та формуванні стійкого, справедливого і функціонального міського середовища. Інклюзивні підходи, інтегровані в урбаністичне планування, здатні не лише вирішити просторові та соціальні дисбаланси, а й забезпечити гідні умови життя для всіх верств населення, зокрема для осіб із вразливих категорій. Аналіз теоретичних засад, національного законодавства та практичних кейсів, як українських, так і міжнародних, засвідчив наявність значного потенціалу для створення інклюзивних міських середовищ, але для цього необхідно подолати існуючі виклики та активізувати зусилля на всіх рівнях – від державного управління до місцевих громад та приватного сектору.

Отже, з огляду на сучасні соціальні, економічні та геополітичні обставини, впровадження принципів інклюзивності у процесах ревіталізації набуває особливої актуальності. Це не лише моральний і правовий обов'язок держави, а й стратегічна інвестиція у формування згуртованого громадянського суспільства, економічної стабільності та довгострокової життєздатності українських міст. Ревіталізовані території, спроектовані на засадах рівного доступу, можуть стати новими точками соціальної інтеграції та зростання, сприяючи поступовій трансформації України у державу європейського зразка, що дотримується принципів справедливості, рівності та людської гідності.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. United Nations General Assembly. (n.d.). *Sustainable Development Goals*. [Electronic resource]. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals>
2. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2021, April 14). *Pro skhvalennja Natsionalnoji strategiji iz stvorenja bezbar'jernogho prostoru v Ukraini na period do 2030 roku: Rozporjadzhennja № 366-r* [On approval of the National Strategy for creating a barrier-free space in Ukraine until 2030: Order No. 366-r]. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#Text>
3. Orghanizacija Ob'jednanykh Natsij. (n.d.). *Konvencija pro prava osib z invalidnistju* [Convention on the Rights of Persons with Disabilities]. [Electronic resource]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71#Text
4. Verkhovna Rada Ukrainy. (1991). *Pro osnovy socialjnoji zakhyshhenosti osib z invalidnistju v Ukraini: Zakon Ukrainy № 875-XII* [On the fundamentals of social protection of persons with disabilities in Ukraine: Law of Ukraine No. 875-XII]. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12#Text>
5. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2011). *DBN B.2.2-5:2011 Blaghoustirij terytoriji* [Territory improvement].
6. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2019). *DBN B.2.2-12:2019 Planuvannja ta zabudova terytorij* [Planning and development of territories].
7. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2021). *DBN V.1.2-9:2021 Bezpeka i dostupnistj pid chas ekspluataciji* [Safety and accessibility during operation].
8. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2018). *DBN V.2.2-40:2018 Inkluzyvnyj budivelj i sporud. Osnovni polozhennja* [Inclusiveness of buildings and structures. Basic provisions].
9. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2021, June 30). *Pro zatverdzhennja Porjadku vlashtuvannja zasobiv bezpereshkodnogho dostupu osib z invalidnistju ta inshykh malomobilnykh hrup naselennja do budynkiv, budivelj, sporud budjakoho pryznachennja...*: Postanova № 668 [On approval of the procedure for arrangement of means of unimpeded access...]. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/668-2021-%D0%BF#Text>
10. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2021, May 26). *Pro zatverdzhennja Porjadku provedennja monitorynghu ta ocinky stupenja bezbar'jernosti ob'ektiv fizychnogho*

otochennja i poslugh dlja osib z invalidnistju: Postanova № 537 [On approval of the monitoring procedure...]. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/537-2021-%D0%BF#Text>

11. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy. (2021, August 31). *Pro zatverdzhennja Metodychnykh rekomendacij shhodo provedennja monitorynghu ta ocinky stupenja bezbar'jernosti ob'ektiv fizychnogho otochennja i poslugh dlja osib z invalidnistju: Nakaz № 217* [On approval of the methodological recommendations...].

12. Snighova, O. Ju. (2020). *Prostorovyj vymir inkluzyvnosti v umovakh stanovlennja «novoji» rehional'noji polityky* [Spatial dimension of inclusiveness in the conditions of formation of "new" regional policy]. *Ukrajinskij gheohrafichnyj zhurnal*, vol. 2 (110), 38–44. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.038>

13. Zhukovs'ka, A., & Shushpanov, D. (2025). *Inkluzyvni terytorijni hromady: ponjattja, oznaky ta pidkhody do vymirjuvannja rivnja jikh inkluzyvnosti* [Inclusive territorial communities: concept, features and approaches to measuring their inclusiveness level]. *Rehionalni aspekty rozvytku produktyvnykh syl Ukrainy*, 1(29), 121–134. <https://doi.org/10.35774/>

14. Kryvomaz, T., Ilchenko, I., Tsyba, A., Hamocjkyj, R., & Ghetjman, Je. (2024). *Doslidzenja etapiv rozvytku inkluzyvnosti pobudovanogho seredovyshha v Ukraini* [Study of the development stages of inclusiveness of the built environment in Ukraine]. *Ekologichna bezpeka ta pryrodokorystuvannja*, 50(2), 6–18. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.6-18>

15. Zakharchenko, V. I. (2024). *Reforma detsentralizaciji v Ukraini jak chynnyk ta instytucijnij skladnyk stalogho rozvytku terytorijnykh hromad* [Decentralization reform in Ukraine as a factor and institutional component of sustainable development of territorial communities]. *Ukrajinskij gheohrafichnyj zhurnal*, 1, 49–62. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.049>

16. Avdjeeva, M. S., Avdjeeva, N. Ju., Vasyjlchenko, V. I., & Soljarsjka, I. O. (2012). *Istorija arkhitektury: v 3 ch.: navch. posib. dlja stud. arkhitektur. spec. vyssh. navch. zakl. Ch. 3: Suchasna svitova arkhitektura (tvorchistj majstriv)* [History of architecture: in 3 parts. Part 3: Modern world architecture (masters' creativity)]. Kyiv: Osvita Ukrainy.

17. Shostak, H. S. (2018). *Barrier-free environment formation in the current urban landscape. Space & Form*, No. 33, 195–204.

18. Drevalj, I. (2024). *Mistobudivni aspekty ghumanizaciji misjkogho prostoru: naukovyj ta praktychnyj dosvid* [Urban planning aspects of urban space humanization: scientific and practical experience]. *European Science*, 2(sge31-02), 126–136. <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-31-00-015>

19. *Metodychni rekomendaciji z dystsypliny «Osoblyvosti projektuvannja inkluzyvnoho predmetno-prostorovogho seredovyshha» dlja studentiv 1 kursu drugoho rivnja vyshhoji osvity /mahistr/ za naprjamom pidhotovky 022 «Dyzajn» osvvitnjo-profesijnioji prohramy «Dyzajn arkhitekurno-landshaftnogho seredovyshha»* (2022). Kharkiv: KhDADM.

Література

1. United Nations General Assembly. (n.d.). *Sustainable Development Goals*. [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://sdgs.un.org/goals>

2. Кабінет Міністрів України. (2021, 14 квітня). *Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року: Розпорядження № 366-р.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#Text>.
3. Організація Об'єднаних Націй. (n.d.). *Конвенція про права осіб з інвалідністю.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71#Text
4. Верховна Рада України. (1991). *Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні: Закон України № 875-XII.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12#Text>
5. Міністерство розвитку громад та територій України. (2011). *ДБН Б.2.2-5:2011 Благоустрій територій.*
6. Міністерство розвитку громад та територій України. (2019). *ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій.*
7. Міністерство розвитку громад та територій України. (2021). *ДБН В.1.2-9:2021 Безпека і доступність під час експлуатації.*
8. Міністерство розвитку громад та територій України. (2018). *ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення.*
9. Кабінет Міністрів України. (2021, 30 червня). *Про затвердження Порядку влаштування засобів безперешкодного доступу осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення до будинків, будівель, споруд будь-якого призначення, їх комплексів та частин, об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури або їх розумного пристосування. Постанова № 668.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/668-2021-%D0%BF#Text>
10. Кабінет Міністрів України. (2021, 26 травня). *Про затвердження Порядку проведення моніторингу та оцінки ступеня безбар'єрності об'єктів фізичного оточення і послуг для осіб з інвалідністю. Постанова № 537.* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/537-2021-%D0%BF#Text>
11. Міністерство розвитку громад та територій України. (2021, 31 серпня). *Про затвердження Методичних рекомендацій щодо проведення моніторингу та оцінки ступеня безбар'єрності об'єктів фізичного оточення і послуг для осіб з інвалідністю. Наказ № 217.*
12. Снігова О. Ю. (2020). Просторовий вимір інклюзивності в умовах становлення «нової» регіональної політики. *Український географічний журнал.* 2020. № 2 (110). С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.038>.
13. Жуковська А., Шушпанов Д. (2025). Інклюзивні територіальні громади: поняття, ознаки та підходи до вимірювання рівня їх інклюзивності. *Регіональні аспекти розвитку продуктивних сил України*, 1(29), 121-134. <https://doi.org/10.35774/>
14. Кривомаз, Т., Ільченко, І., Циба, А., Гамоцький, Р., & Гетьман, Є. (2024). Дослідження етапів розвитку інклюзивності побудованого середовища в

Україні. *Екологічна безпека та природокористування*, 50(2), 6–18.
<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.6-18>

15. Захарченко В. І. (2024). Реформа децентралізації в Україні як чинник та інституційний складник сталого розвитку територіальних громад. *Український географічний журнал*, 1, 49–62. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.049>

16. Історія архітектури: в 3 ч.: навч. посіб. для студ. архітектур. спец. вищ. навч. закл. Ч. 3: Сучасна світова архітектура (творчість майстрів)/ М.С. Авдєєва, Н.Ю. Авдєєва, В.І. Васильченко, І.О. Солярська. –К.: Освіта України, 2012.–300 с

17. Hanna S. Shostak (2018). Barrier-free environment formation in the current urban landscape [text] / Hanna S. Shostak // Space & Form: scientific journal. - Polish Academy of Sciences and West Pomeranian University of Technology. No 33, 195-204.

30. Древаль, І. (2024). Містобудівні аспекти гуманізації міського простору: науковий та практичний досвід. *European Science*, 2(sge31-02), 126–136.
<https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-31-00-015>

31. Методичні рекомендації з дисципліни «Особливості проектування інклюзивного предметно-просторового середовища» для студентів І курсу другого рівня вищої освіти /магістр/ за напрямом підготовки 022 «Дизайн» освітньо-професійної програми «Дизайн архітектурно-ландшафтного середовища» Х.: ХДАДМ, 2022. 47 с.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 11.11.2025	Received 11.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 16.11.2025	Received in revised form 16.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Pilipaka N.V.

Master,

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

Pasichnyk O.S. *

Ph.D. in Architecture, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8381-0257>

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

Kazmiruk Y.Y.

Honored Architect of Ukraine, Associate Professor,

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: oxanapasichnyk@gmail.com

Inclusiveness in the revitalization of industrial areas using the example of the Chaika microdistrict in the city of Rivne

Cite as:

Pilipaka, N.V., Pasichnyk, O.S., Kazmiruk, Yu.Y. (2025). Inclusiveness in the revitalization of industrial areas using the example of the Chaika microdistrict in the city of Rivne. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 317-330. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-26](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-26)

© 2025, Pilipaka N.V., Pasichnyk O.S., Kazmiruk Yu.Y.

Abstract. This article presents the importance of integrating the principles of inclusion at all stages of planning and implementing projects for revitalization of neglected, in particular, post-industrial urban production areas. The current Ukrainian regulatory framework in the field of inclusion is analyzed, in particular the requirements of state building codes, as well as current political initiatives, in particular the National Strategy for Creating a Barrier-Free Space by 2030.

The authors analyze the principles of inclusion in the urban context, highlight the Ukrainian regulatory and legal basis for creating a barrier-free environment, as well as the experience of applying the principles of universal design, spatial accessibility, and social justice in revitalization practice.

The study provides examples of practical implementation of an inclusive approach in the revitalization of urban areas in Ukraine (Lviv, Kyiv) and abroad (Canada, Great Britain), which allows us to identify universal indicators of inclusiveness, such as: physical accessibility, functional flexibility, participatory nature and preservation of cultural identity. The authors also identify key challenges, including the fragmentation of approaches, the lack of mandatory social impact analysis, and formalized public discussion. The article formulates a number of recommendations for adapting an inclusive approach to Ukrainian realities, in particular through regulatory consolidation of participation procedures, development of institutional support mechanisms, and financial incentives for the implementation of universal design.

Keywords: inclusivity, accessibility, revitalization, urban space, universal design, urbanism, post-industrial areas, barrier-free, sustainable development

УДК 691.32:620.17:004.85

О.С. Приходько

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8496-1295>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

В.О. Приходько

студент ПРМ-11

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: cdrr.mechanik@gmail.com

Ітераційна оптимізація складу бетону із заданою швидкістю тверднення за допомогою машинного навчання

Цитувати як:

Приходько, О.С., Приходько, В.О. (2025). Ітераційна оптимізація складу бетону із заданою швидкістю тверднення за допомогою машинного навчання. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 331-339. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-27](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-27)

© 2025, Приходько О.С., Приходько В.О.

У сучасній будівельній індустрії одним із ключових чинників підвищення економічної ефективності монолітного будівництва є швидкість обороту опалубки, яка визначається кінетикою набору міцності бетоном. Традиційні підходи до проектування бетонних сумішей орієнтовані переважно на забезпечення марочної міцності через 28 діб і часто не дозволяють оперативно визначати оптимальні компонентні склади для прискореного тверднення без проведення тривалих натурних випробувань. У цій роботі запропоновано та реалізовано підхід до розв'язання зворотної технологічної задачі – автоматизованого підбору складу бетонної суміші із заданою швидкістю тверднення. Методологічна основа дослідження поєднує предиктивне моделювання та стохастичну оптимізацію. Як аналітичний компонент використано ансамблеву регресійну модель Random Forest, навчену на відкритому наборі даних. Оптимізаційну задачу реалізовано через двоконтурний алгоритм: зовнішній цикл визначає часові інтервали досягнення проектної міцності, тоді як внутрішній цикл здійснює генерацію псевдовипадкових рецептур методом Монте-Карло (100 000 ітерацій) та їх подальше ранжування. У межах обчислювального експерименту для бетону класу C32/40 (40 МПа) встановлено технологічно можливу межу раннього досягнення міцності. Моделюванням ідентифіковано кластер із 236 сумішей, що забезпечують проектну міцність на третю добу тверднення. Аналіз компонентного складу отриманих рецептур показав їх узгодженість із відомими технологічними закономірностями для бетонів прискореного тверднення (High Early Strength Concrete). Зокрема, для досягнення цільових показників у надкороткий термін модель визначила як оптимальні параметри зниження водоцементного відношення до рівня 0,24–0,26 при вмісті цементу понад 450 кг/м³, що корелює із законом Абрамса та принципами отримання високофункціональних бетонів. Встановлено, що скорочення терміну тверднення до 3 діб збільшує собівартість суміші на близько 82% відносно 28-

добового циклу. Запропонований підхід може бути використаний як інструмент підтримки інженерно-технологічних рішень, оскільки забезпечує автоматизований пошук раціонального складу бетонної суміші з урахуванням обмежень за вартістю та необхідними темпами будівництва.

Ключові слова: раннє тверднення, технологія бетону, машинне навчання, Random Forest, оптимізація складу, метод Монте-Карло

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Застосування методів машинного навчання (ML) у проєктуванні бетонних сумішей дозволяє враховувати складні нелінійні взаємозв'язки між компонентами, умовами тверднення та властивостями матеріалу. Класичні підходи з використанням регресійних дерев, нейронних мереж та методів опорних векторів, як показано у роботі [1], демонструють ефективність для моделювання міцності бетону з урахуванням вторинних мінеральних добавок. Аналогічно, в [2] було запропоновано глибинну багатокритеріальну модель, яка дозволяє одночасно прогнозувати властивості та оптимізувати склад ультрависокоміцного бетону. В [3] порівняно CatBoost, k-NN та Support Vector Regression і виявлено перевагу градієнтних моделей у точності прогнозу. Вперше поєднання ML-моделювання з ймовірнісними методами було запропоновано в [4], що дало змогу оцінювати невизначеність прогнозованої міцності та підвищити надійність оптимізації складу. Окрім того, сучасні роботи демонструють зростаючу ефективність ансамблевих моделей та байєсівських підходів. Наприклад, в [5] було порівняно SVR, MLP, Gradient Boosting Regressor та XGBoost та показано, що ансамблеві алгоритми (GBR, XGBoost) забезпечують кращу точність прогнозу та стабільність моделей. Автори в [6] запропонували використання Gaussian Processes у поєднанні з багатокритеріальною оберненою оптимізацією для одночасного зменшення вартості та вуглецевого сліду бетонної суміші.

Додатково, автори в [7] показали перевагу гібридних моделей, що поєднують метасвристики та нейронні мережі. Аналогічно, в [8] застосували байєсівську оптимізацію для пошуку сталих бетонних сумішей із мінімальним глобальним вуглецевим слідом при збереженні міцності, демонструючи практичні переваги автоматизованого підбору складу. Останні дослідження також приділяють увагу багатокритеріальному прогнозуванню властивостей. В [9] було розроблено моделі, що одночасно прогнозують міцність на стиск, міцність на вигин та осадку суміші, підкреслюючи можливість використання ML для комплексного проєктування бетонних сумішей.

Попри активне впровадження методів штучного інтелекту, більшість існуючих моделей вирішують переважно «пряму» задачу – прогнозування властивостей бетону за відомим складом. Натомість «зворотне»

проектування сумішей із заданою кінетикою набору міцності та оптимізацією економічних показників залишається недостатньо дослідженим. Відсутність формалізованих та автоматизованих методик для мінімізації часу тверднення та раціонального балансування вартості компонентів обґрунтовує актуальність і наукову новизну цього дослідження.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка та верифікація методики автоматизованого проектування складу бетону, що забезпечує мінімізацію терміну досягнення проектної міцності, на основі поєднання предиктивного машинного моделювання та стохастичної оптимізації.

Матеріали та методи

Дослідження базується на використанні відкритого набору даних (UCI Machine Learning Repository [10]), що містить 1030 експериментальних записів про вміст цементу, доменного шлаку, золи, води, суперпластифікатора, крупного та дрібного заповнювачів, а також вік зразка. Цільовою змінною є міцність на стиск в МПа.

Методика включає три етапи:

1. Навчання та валідація моделі. Використано алгоритм Random Forest Regressor (200 дерев рішень). Для оцінки адекватності моделі вибірку розділено на навчальну (80%) та тестову (20%). Оцінювались метрики MAE (середня абсолютна помилка) та R^2 (коефіцієнт детермінації).

2. Двоконтурна симуляція. Розроблено алгоритм, що включає зовнішній цикл перебору часових інтервалів ($t = \{3, 7, 14, 28\}$ діб) та внутрішній цикл генерації псевдовипадкових сумішей методом Монте-Карло ($N=100000$ ітерацій для кожного t). Генерація здійснюється в межах діапазонів, визначених граничними значеннями навчальної вибірки, що забезпечує фізичну правдоподібність та технологічну реалістичність модельованих сумішей. Для кожної згенерованої рецептури навчена модель обчислює прогнозовану міцність та, в разі, коли вона більша за задану – додає її до вибірки прийнятих сумішей.

3. Економічна оцінка. Для відібраних сумішей, що задовольняють умову міцності, розраховується умовна собівартість, яка визначається як зважена сума добутків вартості кожного компонента (у відносних одиницях) на його масову частку у складі. Такий підхід дозволяє використовувати умовну вартість як універсальний внутрішній критерій економічної доцільності без прив'язки до волатильних валютних показників чи регіональних цін.

Результати та обговорення

Валідація прогнозної моделі. Перед використанням моделі як інструменту генерації було проведено перевірку її точності на незалежних

тестових даних. На рисунку 1 наведено графік порівняння прогнозованих значень відносно реальних (а) та діаграма важливості ознак (б).

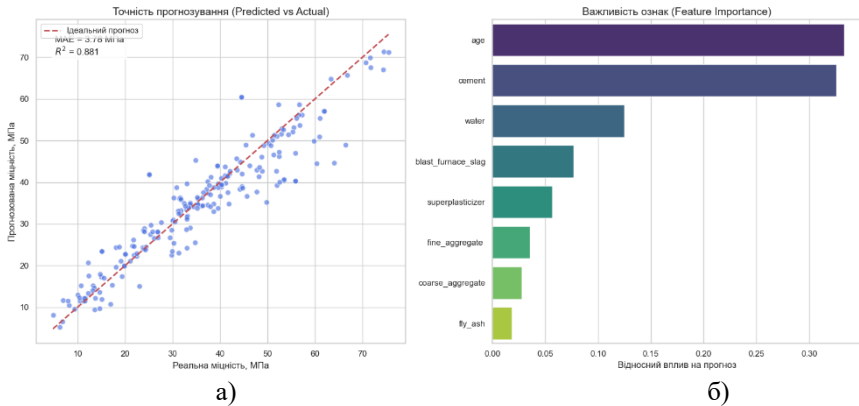


Рис. 1. Графік порівняння прогнозованих значень відносно реальних (а) та діаграма важливості ознак (б)

Як видно з рис. 1а, модель демонструє високу кореляцію між прогнозованими та реальними значеннями ($R^2=0.881$, $MAE=3.76$ МПа). Відсутність систематичного зміщення відносно діагоналі підтверджує здатність моделі коректно працювати у всьому діапазоні міцностей. Аналіз важливості ознак (рис. 1б) показує, що модель ідентифікувала вік (Age) та вміст цементу (Cement) як домінантні фактори впливу, що фізично обґрунтовано.

Результати ітераційного пошуку. Задачею експерименту було знаходження складів для бетону класу С32/40 з мінімізацією часу тверднення. Симуляція показала, що досягнення цієї міцності технологічно можливе вже на 3-тю добу. Було ідентифіковано кластер із 236 сумішей, що задовольняють задані критерії. Статистичний аналіз отриманих рішень демонструє чітку тенденцію: переважна більшість змодельованих сумішей для цього терміну характеризується водоцементним відношенням у діапазоні 0,24–0,26 та вмістом цементу понад 450 кг/м³. Ці значення є результатом екстраполяції моделлю залежностей, наявних у навчальній вибірці, на область високих ранніх міцностей.

На рис. 2 представлено графіки візуалізації отриманих даних, що дозволяє виявити глибинні закономірності формування вартості бетонних сумішей залежно від вимог до кінетики набору міцності. Зокрема на рис. 2а представлена динаміка зміни мінімальної собівартості складів, що забезпечують 40 МПа, залежно від доступного часу тверднення. Встановлено, що забезпечення проектної міцності на 3-тю добу вимагає використання рецептури з умовною вартістю 7720 од., що на 82% дорожче

за базовий варіант для 28 діб (4246 од.). Найбільш різке зниження вартості спостерігається в інтервалі від 3 до 7 діб (падіння на 25%). Це свідчить про те, що екстремальне прискорення тверднення є найбільш ресурсоемним, тоді як помірне прискорення (до 7-14 діб) має більш пологі криву здорожчання.

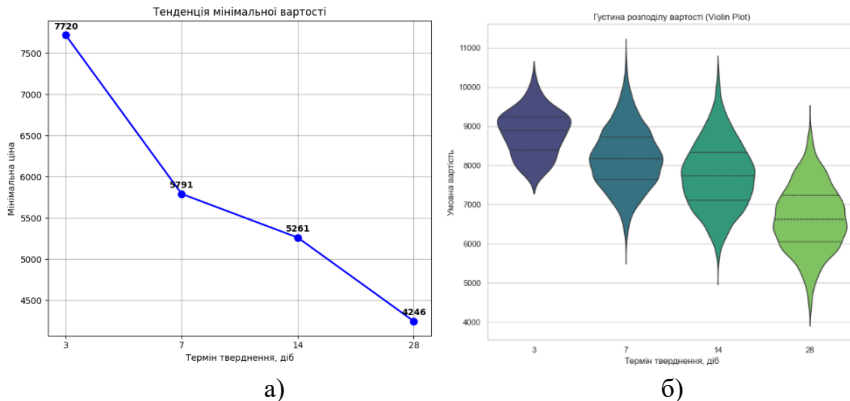


Рис. 2. Графіки візуалізації результатів підбору сумішей бетону

Аналіз густини розподілу вартості сумішей, представлений на рис. 2б у вигляді діаграми скрипкового типу, дозволяє оцінити зміну простору допустимих рішень залежно від часових обмежень. Як видно з діаграми, для терміну 3 доби (синій контур зліва) розподіл має форму «гриба» з концентрацією значень («центром мас») у верхній частині цінового діапазону (≈ 9000 од.). Характерною особливістю є відсутність «хвоста» в нижній частині графіка. Це вказує на існування жорстких технологічних обмежень: доступний лише вузький коридор дорогих складів, здатних забезпечити проектну міцність у настільки ранній термін, що зумовлює низьку варіативність рішень.

Натомість для терміну 28 діб (салатовий контур справа) форма розподілу кардинально змінюється, набуваючи вигляду витягнутої «краплі». Спостерігається значне розширення діапазону в бік нижчих цін (формується довгий нижній «хвіст» аж до 4000 од.). Така структура даних свідчить про високу варіативність: модель знайшла множину альтернативних шляхів досягнення міцності (зокрема через використання дешевших замінників цементу), які стають доступними лише за умови достатнього часу для гідратації.

Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що моделі машинного навчання на базі дерев рішень здатні не лише інтерполювати відомі дані, а й знаходити гранично можливі з точки зору технології складу сумішей. Модель самостійно відтворила принцип "Water-Cement Ratio Law"

(емпіричний закон Абрамса), компенсуючи брак часу на набір міцності зниженням кількості води та збільшенням дози суперпластифікатора у "швидких" сумішах.

Економічний аналіз показує, що вимога ранньої розпалубки (на 3-тю добу) призводить до подорожчання матеріальної складової бетону майже вдвічі. Це дає інструмент для прийняття управлінських рішень: керівник проекту може порівняти додаткові витрати на бетон з економією від прискорення будівництва і обрати оптимальну стратегію.

Обмеженням дослідження є залежність від якості навчальної вибірки: модель не може запропонувати використання компонентів (наприклад, новітніх нано-добавок), які були відсутні в історичних даних.

Висновки

Була розроблена методика ітераційного моделювання, яка дозволяє ефективно вирішувати зворотну технологічну задачу – проектування складу бетону із заданою кінетикою тверднення. Встановлено, що досягнення міцності, яка відповідає класу С32/40 (40 МПа), на 3-тю добу є технологічно можливим. Моделювання показало, що для забезпечення такої кінетики набору міцності раціональним є використання складів із підвищеним вмістом цементу (450–530 кг/м³) та низьким водоцементним відношенням, що узгоджується з практикою виготовлення швидкотверднучих бетонів [11]. Економічний аналіз виявив, що таке технологічне прискорення призводить до збільшення умовної вартості матеріалів на 82% порівняно з рецептурами для стандартного 28-добового циклу, що кількісно підтверджує залежність «швидкість–вартість». Візуалізація простору рішень показала, що зі збільшенням терміну тверднення експоненційно зростає варіативність допустимих сумішей, що відкриває можливості для економії ресурсів та використання вторинної сировини (золи, шлаків).

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Qi, C., Huang, B., Wu, M., Wang, K., Yang, S., & Li, G. (2022). Concrete Strength Prediction Using Different Machine Learning Processes: The Effect of Slag, Fly Ash, and Superplasticizer. *Materials*, 15(15), 5369. <https://doi.org/10.3390/ma15155369>
2. Sun, C., Wang, K., Liu, Q., Wang, P., & Pan, F. (2023). Machine-learning-based comprehensive properties prediction and mixture design optimization of ultra-high-performance concrete. *Sustainability*, 15(21), 15338. <https://doi.org/10.3390/su152115338>
3. Beskopylny, A. N., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Razveeva, I., Chernil'nik, A., & Beskopylny, N. (2022). Concrete strength prediction using machine learning methods: CatBoost, k-nearest neighbors, support vector regression. *Applied Sciences*, 12(21), 10864. <https://doi.org/10.3390/app122110864>
4. Forsdyke, J. C., Zviashynski, B., Lees, J. M., & Conduit, G. J. (2023). Probabilistic selection and design of concrete using machine learning. *Data-Centric Engineering*, 4, e9. <https://doi.org/10.1017/dce.2023.5>
5. Nguyen, H., Vu, T., Vo, T. P., & Thai, H. T. (2021). Efficient machine learning models for prediction of concrete strengths. *Construction and Building Materials*, 266(Part B), 120950. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120950>
6. Pfeiffer, O. P., Gong, K., Severson, K. A., Chen, J., Gregory, J. R., Ghosh, S., Goodwin, R. T., & Olivetti, E. A. (2024). Bayesian design of concrete with amortized Gaussian processes and multi-objective optimization. *Cement and Concrete Research*, 177, 107406. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107406>
7. Li, P., Zhang, Y., Gu, J., et al. (2024). Prediction of compressive strength of concrete based on improved artificial bee colony-multilayer perceptron algorithm. *Scientific Reports*, 14, 6414. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57131-w>
8. Ament, S., Witte, A., Garg, N., & Kusuma, J. (2023). Sustainable concrete via Bayesian optimization. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2310.18288>
9. Vargas, J. F., Oviedo, A. I., Ortega, N. A., Orozco, E., Gómez, A., & Londoño, J. M. (2024). Machine-learning-based predictive models for compressive strength, flexural strength, and slump of concrete. *Applied Sciences*, 14(11), 4426. <https://doi.org/10.3390/app14114426>
10. Yeh, I.-C. (1998). Concrete compressive strength [Dataset]. UCI Machine Learning Repository. <https://doi.org/10.24432/C5PK67>
11. Ananyachandran, Polipati & Vasugi, V.. (2017). Review of high early strength concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 8. 697-705.

Література

1. Qi C., Huang B., Wu M., Wang K., Yang S., Li G. Concrete Strength Prediction Using Different Machine Learning Processes: Effect of Slag, Fly Ash and Superplasticizer // *Materials*. – 2022. – Vol. 15, № 15. – P. 5369. – DOI: 10.3390/ma15155369.
2. Sun C., Wang K., Liu Q., Wang P., Pan F. Machine-Learning-Based Comprehensive Properties Prediction and Mixture Design Optimization of Ultra-High-

Performance Concrete // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, № 21. – P. 15338. – DOI: 10.3390/su152115338.

3. Beskopylny A.N., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Mailyan L.R., Meskhi B., Razveeva I., Chernil'nik A., Beskopylny N. Concrete Strength Prediction Using Machine Learning Methods: CatBoost, k-Nearest Neighbors, Support Vector Regression // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12, № 21. – P. 10864. – DOI: 10.3390/app122110864.

4. Forsdyke J.C., Zviadzynski B., Lees J.M., Conduit G.J. Probabilistic Selection and Design of Concrete Using Machine Learning // Data-Centric Engineering. – 2023. – Vol. 4. – e9. – DOI: 10.1017/dce.2023.5

5. Nguyen H., Vu T., Vo T.P., Thai H.T. Efficient machine learning models for prediction of concrete strengths // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 266, Part B. – Article 120950. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120950

6. Pfeiffer O.P., Gong K., Severson K.A., Chen J., Gregory J.R., Ghosh S., Goodwin R.T., Olivetti E.A. Bayesian design of concrete with amortized Gaussian processes and multi-objective optimization // Cement and Concrete Research. – 2024. – Vol. 177. – 107406. – DOI: 10.1016/j.cemconres.2023.107406

7. Li P., Zhang Y., Gu J., et al. Prediction of compressive strength of concrete based on improved artificial bee colony-multilayer perceptron algorithm // Sci Rep. – 2024. – Vol. 14. – 6414. – DOI: 10.1038/s41598-024-57131-w

8. Ament S., Witte A., Garg N., Kusuma J. Sustainable concrete via Bayesian optimization // arXiv. – 2023. – URL: <https://arxiv.org/abs/2310.18288>

9. Vargas J.F., Oviedo A.I., Ortega N.A., Orozco E., Gómez A., Londoño J.M. Machine-Learning-Based Predictive Models for Compressive Strength, Flexural Strength, and Slump of Concrete // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, № 11. – 4426. – DOI: 10.3390/app14114426

10. Yeh I.-C. Concrete Compressive Strength [Dataset] // UCI Machine Learning Repository. – 1998. – DOI: 10.24432/C5PK67

11. Ananyachandran, Polipati & Vasugi, V.. Review on high early strength concrete. International Journal of Civil Engineering and Technology. 8. 697-705c – 2017

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 13.11.2025	Received in revised form 13.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O. S. Prykhodko

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8496-1295>

Department of Applied Mathematics and Mechanics

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

V. O. Prykhodko

Student PRM-11

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: cdrr.mechanik@gmail.com

Iterative Optimization of Concrete Mix Composition with a Target Hardening Rate Using Machine Learning

How to Cite:

Prykhodko O. S., Prykhodko V. O. (2025). Iterative Optimization of Concrete Mix Composition with a Target Hardening Rate Using Machine Learning. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 331-339. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-27](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-27)

Abstract. In the modern construction industry, one of the key factors enhancing the economic efficiency of monolithic construction is the formwork turnover rate, which is determined by the kinetics of concrete strength gain. Traditional approaches to concrete mix design primarily focus on ensuring design strength after 28 days and often fail to rapidly determine optimal recipes for accelerated hardening without lengthy physical experiments. This paper proposes and implements an approach to solving the inverse technological problem: the automated design of concrete mix composition with a specified hardening rate. The methodological basis of the study combines predictive modeling and stochastic optimization. A Random Forest ensemble regression model, trained on an open dataset, was used as the analytical component. The optimization problem is implemented through a two-loop algorithm: the outer loop determines the time intervals for achieving the design strength, while the inner loop performs Monte Carlo generation of pseudo-random mix designs (100,000 iterations) followed by their ranking. Within the computational experiment for concrete class C32/40 (40 MPa), a technologically feasible limit for early strength achievement was established. The modeling identified a cluster of 236 mix designs capable of ensuring the design strength on the third day of hardening. Analysis of the component composition of the obtained mix designs demonstrated consistency with established technological principles for High Early Strength Concrete. Specifically, to achieve target performance indicators within an ultra-short timeframe, the model identified a reduction of the water-cement ratio to 0.24–0.26 and a cement content exceeding 450 kg/m³ as optimal parameters, which correlates with Abrams' law and the principles of High Performance Concrete production. It was established that reducing the curing time to 3 days increases the cost of the mix by approximately 82% relative to the standard 28-day cycle. The proposed approach can serve as a support tool for engineering and technological decisions, as it provides an automated search for a rational concrete mix composition considering cost constraints and required construction schedules.

Keywords: early hardening, concrete technology, machine learning, Random Forest, mix optimization, Monte Carlo method

УДК 528.856:004.85

І. А. Радіон*

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9831-454X>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру
Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

О. В. Мельник

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру
Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

*автор-кореспондент, e-mail: radionigor11@gmail.com

Сучасні методи нейронних мереж для векторизації будівель із супутникових знімків високої роздільної здатності

Цитувати як:

Радіон, І. А., Мельник, О. В. (2025). Сучасні методи нейронних мереж для векторизації будівель із супутникових знімків високої роздільної здатності, 24, 340-347. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-28](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-28)

© 2025, Радіон І. А., Мельник О. В.

Автоматична векторизація будівель із супутникових знімків є ключовою задачею для картографування та кадастру. Сучасні методи глибокого навчання досягли високої растрової точності (IoU 85-92%), однак існує фундаментальна проблема: оптимізація сегментації не гарантує генерацію геометрично та топологічно коректних векторних полігонів. Дослідження фіксують значні відхилення кутів (до 8.3°), непаралельність стін та високий відсоток топологічних помилок (12-18%). Також викликами залишаються погана генералізація моделей на нові регіони та пропуск малих об'єктів.

Систематизація та аналіз сучасних методів глибокого навчання для векторизації будівель, з акцентом на проблемах геометричної регулярності, топологічної коректності та генералізації.

Проведено аналіз публікацій за 2015-2024 роки (CVPR, ISPRS та ін.) з використанням еталонних датасетів (SpaceNet, WHU, INRIA). Метрики оцінювання включали IoU та F1-score для растрової точності, а також PoLiS та Chamfer Distance для векторної. Методи класифіковано на три групи: CNN-орієнтовані (U-Net, DeepLab), трансформерні (Swin, SegFormer) та комплексні (end-to-end) методи (Frame Field Learning, GNN).

CNN-архітектури залишаються ефективною базою. Трансформери демонструють найвищу растрову точність (IoU >90%), але є обчислювально дорогими. Комплексні (end-to-end) методи, такі як Frame Field Learning та PolyWorld, що генерують вектори напряму, оминаючи етап полігонізації, показують дещо нижчу растрову точність, але значно кращу векторну якість (PoLiS ~73%), що є критичним для кадастрових задач.

Існує компроміс: трансформери лідирують за растровою точністю (IoU 85-92%), тоді як end-to-end методи (IoU 82-88%) забезпечують значно вищу векторну якість (PoLiS 70-73%). Перспективними напрямками є інтеграція геометричних обмежень в архітектуру мереж, розробка топологічно-усвідомлених функцій втрат, покращення генералізації та мультимодальні підходи, що поєднують оптичні знімки з даними LiDAR.

Ключові слова: векторизація будівель, глибоке навчання, нейронні мережі, супутникові знімки, семантична сегментація, трансформери, полігонізація, топологія

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Автоматична векторизація будівель із супутникових знімків високої роздільної здатності є критично важливою задачею для картографування території, кадастрового обліку, міського планування, аналізу урбанізації та при оцінці пошкоджень внаслідок надзвичайних ситуацій. Традиційні методи, які базуються на класичних алгоритмах машинного навчання та детектуванні країв будівель, мають суттєві обмеження в складних міських середовищах із щільною забудовою та різноманітною архітектурою будівель [1].

За останнє десятиліття методи глибокого навчання продемонстрували значний прогрес у вирішенні цієї задачі. Архітектура U-Net, адаптована для задач дистанційного зондування Землі [2], стала базовою моделлю, завдяки своїй структурі у вигляді енкодера-декодера з пропускними з'єднаннями, що дозволяє ефективно виявляти ознаки в різних масштабах. Подальші дослідження показали, що інтеграція механізмів «уваги» значно покращує екстракцію будівель з аерознімків [3].

Сучасні підходи можна класифікувати на три основні категорії: методи семантичної сегментації на основі згорткових нейронних мереж (Convolutional Neural Network), трансформерні архітектури та комплексні (end-to-end) векторизаційні методи. Модель DeepLab v3+ демонструє значення ступеня перетину між двома обмежувальними рамками (IoU) 87,3% на наборі даних аерофотознімків та супутникових знімків зразків будівель WHU Building Dataset [4], тоді як трансформерні моделі, зокрема UNetFormer, досягають IoU 90,2% на наборі даних INRIA Aerial Dataset [5]. В роботі [6] було запропоновано інноваційну інтеграцію CNN у сумісності з трансформером через механізм самоуваги до багатомасштабних диференційних ознак, що дозволяє балансувати глобальні та локальні ознаки.

Однак, незважаючи на високу точність сегментації за метрикою IoU (85-92%), сучасні методи глибокого навчання мають критичні проблеми з генерацією геометрично правильних векторних контурів. Дослідження показують, що базові CNN-архітектури генерують нерегулярні полігони з

відхиленням кутів у середньому на $8,3^\circ$, непаралельністю протилежних стін на $5,7^\circ$ та зміщенням вершин на 2-4 пікселя [7]. Топологічна коректність також залишається проблемою – навіть «state-of-the-art» моделі генерують топологічно некоректні полігони у 12-18 % випадків [8].

Додатковими викликами є погана генералізація, в залежності від географічних умов досліджуваних території (падіння IoU з 89,2 % до 67,8 % без донавчання [9], пропуск малих будівель у 35-40 % випадків та проблеми з оклюзіями від дерев і тіней, що знижують точність на 15,3 % [10]. Існує фундаментальна проблема між точністю растрової сегментації та якістю геометрії, після векторизації. Оптимізація IoU не гарантує правильної геометричної структури та топології полігонів.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є систематизація та аналіз сучасних методів глибокого навчання для векторизації будівель із супутникових знімків високої роздільної здатності з акцентом на проблемах геометричної регулярності, топологічної коректності та практичному застосуванні.

Завдання дослідження включають: (1) аналіз архітектур згорткових нейронних мереж та трансформерних моделей для семантичної сегментації будівель; (2) дослідження методів постобробки та полігонізації растрових масок; (3) виявлення основних проблем та обмежень сучасних підходів; (4) визначення перспективних напрямків для вдосконалення методів векторизації.

Матеріали та методи

У дослідженні проаналізовано публікації за період з 2015-2024 років у провідних журналах та конференціях з комп'ютерного зору та дистанційного зондування (CVPR, ICCV, ISPRS, Remote Sensing). Основна увага приділена методам, що використовують супутникові знімки високої роздільної здатності (0.3-1.5 м/піксель) таких систем як WorldView-3/4, GeoEye-1, Pleiades.

Для порівняльного аналізу використано результати експериментів на стандартних еталонних датасетах: SpaceNet, WHU Building Dataset, INRIA Aerial Image Labeling Dataset та Massachusetts Building Dataset. Основними метриками оцінювання є IoU, Precision (точність), F1-score (середнє гармонічне між точністю і повнотою), для растрової сегментації, а також PoLiS (Polygon Line String metric, метрика для порівняння багатокутників і відрізків ліній) та Chamfer Distance (Відстань Чамфера) для векторної точності.

Класифікацію методів проведено за трьома категоріями: (1) семантична сегментація, яка базується на CNN (U-Net, ResUNet, DeepLab, SAM); (2) трансформерні архітектури (Swim Transfromer, SegFormer); (3) комплексна (end-to-end) векторизація (Frame Field Learning, GNN методи).

Для кожної категорії проаналізовано архітектурні особливості, точність, обчислювальну складність та типові проблеми.

Результати та обговорення

Згорткові нейронні мережі. U-Net залишається найпоширенішою базовою архітектурою завдяки своїй простоті та ефективності. Модифікації U-Net показали покращені результати: ResUNet інтегрує залишкові з'єднання для тренування глибших мереж, а Attention U-Net використовує механізми уваги для фокусування на релевантних регіонах [2,3]. DeepLab v3+ з ASPP захоплює багатомасштабний контекст, досягаючи IoU 87,3% на WHU Dataset [4].

Важливим напрямком є мультизадачні архітектури. Ванг та ін. [6] у моделі MDFA-Net запропонував ієрархічно багатомасштабний модуль розширеної згортки (HMDConv) для екстракції локальних ознак та модуль механізму самоуваги диференційованих ознак (DFSА) для глобального контексту. Така гібридна архітектура ефективно балансує між виявленням глобальних та локальних ознак. Методи мультизадачного навчання із виявленням меж сегментують будівлі та виявляють їх межі, що покращує точність контурів на 6,8 %.

Адаптація Segment Anything Model (SAM) для задач ДЗЗ є активною областю досліджень. У імплементації із методом Low-Rank Adaptation (LoRA), який дозволяє ефективно донавчати великі сегментаційні моделі на спеціалізованих наборах даних, SAM демонструє свою високу результативність у задачах екстракції будівель.

Трансформерні архітектури. Візійні трансформери (ViT, Vision Transformers) впровадили механізми самоуваги у задачі екстракції будівель. Свін-трансформер (Swin Transformer), з його ієрархічною структурою та механізмом зсувних (ковзних) вікон показав IoU 90,2 % на INRIA Dataset, що на 3,1 % краще ніж методи, які базувались на глибоких нейронних мережах [5]. Сегментаційний трансформер (SegFormer, Segmentation TransFormer) поєднує ефективність трансформерів з легковаговим декодером, забезпечуючи баланс між точністю та швидкістю [12].

Спеціалізовані архітектури інтегрують диференційовані геометричні обмеження для кращого моделювання регулярних структур будівель. Однак, трансформерні моделі мають вищу обчислювальну складність та потребують більших датасетів для тренування порівняно із CNN. Для практичного застосування часто використовують гібридні архітектури, що комбінують переваги обох підходів.

Комплексна (end-to-end) векторизація та полігонізація. Традиційний пайплайн (сегментація – постобробка – полігонізація) має обмеження через втрати інформації на кожному етапі. Навчання каркасних полів (Frame Field Learning) пропонує диференційовану процедуру векторизації, передбачаючи локальні каркаси для побудови

регуляризованих полігонів [13]. PolyWorld моделює будівлі як графи з вершинами-кутами та ребрами-стінами, використовуючи графові нейронні мережі (GNN) для ітеративної корекції, щоб досягти значень PoLiS 73,2% проти 58,4% традиційних методів [14].

Методи постобробки, такі як алгоритм Рамера-Дугласа-Пекера чи інші, часто погіршують ситуацію, надмірно спрощуючи складні архітектурні елементи. Системи ієрархічного контролю (Hierarchical supervision framework) навчають мережу на трьох рівнях (піксель, межа, вершина), забезпечуючи зменшення похибки позиціонування вершин на 1,2 пікселя [15].

Основні проблеми та обмеження. Першою проблемою є геометрична нерегулярність методів, що спричиняє відхилення кутів будівель, зміщення меж та непаралельність стін, що є неприпустимим для кадастрових застосувань, де потрібна висока точність.

Наступною проблемою є топологічні помилки у вихідних векторах, найчастіше це самоперетини полігонів, розриви контурів та дублювання вершин. Особливо проблематичними є щільно забудовані райони, де мережі об'єднують окремі будівлі, або розділяються одну будівлю на різні частини.

Також, присутні проблеми генералізації. Моделі, натреновані на європейських містах, демонструють суттєве падіння результатів при тестуванні на азіатських містах, якщо при цьому не було додаткового донавчання. Висока варіативність розмірів будівель спричиняє пропуски у розпізнаванні будівель.

Суттєвою також є проблема оклюзій та проявів різноманітних атмосферних умов на космічних знімках. Тіні від високих будівель та дерев призводять до часткового виявлення будівель, а сезонні зміни рослинності вимагають тренування моделі на мультитемпоральних даних.

Висновки

Сучасні методи нейронних мереж досягли високої точності векторизації будівель, проте зберігаються критичні проблеми геометричної регулярності, топологічної коректності та генералізації. Ключові виклики включають відхилення кутів до 8.3° від ортогональності, топологічні помилки у 12-18% випадків, падіння точності на 15-22% при зміні географічного регіону та пропуски будівель.

Трансформерні архітектури демонструють найвищу точність (IoU 85-92%), але є ресурсомісткими. CNN-базовані методи забезпечують кращий баланс швидкості та якості (IoU 80-90%). Комплексні векторизаційні підходи мають нижчу растрову точність (IoU 82-88%), але значно кращу векторну якість зі значеннями метрики PoLiS 70-73%.

Перспективними напрямками вирішення існуючих проблем є: інтеграція диференційованих геометричних обмежень безпосередньо в архітектури мереж, розробка топологічно-усвідомлених функцій втрат,

створення базових моделей з кращою міжмоделною генералізацією та розвиток методів самоконтрольованого навчання для зменшення залежності від великих анотованих наборів даних. Особливу перспективу демонструють адаптовані моделі сегментації загального призначення з низькоранговою адаптацією. Необхідно також приділити увагу мультимодальним підходам, що інтегрують оптичні знімки з цифровими моделями поверхні та даними лазерного сканування для покращення тривимірної реконструкції будівель.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

Література

1. Li W., He C., Fang J., Zheng J., Fu H., Yu L. Semantic segmentation-based building footprint extraction using very high-resolution satellite images and multi-source GIS data. *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11, № 4. P. 403.
2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*. Springer, 2015. P. 234–241.
3. Oktay O., Schlemper J., Folgoc L.L., Lee M., Heinrich M., Misawa K., Rueckert D. Attention U-Net: Learning where to look for the pancreas. *Medical Imaging with Deep Learning*. 2018.
4. Chen L.-C., Zhu Y., Papandreou G., Schroff F., Adam H. Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*. 2018. P. 801–818.
5. Wang L., Li R., Zhang C., Fang S., Duan C., Meng X., Atkinson P.M. UNetFormer: A UNet-like transformer for efficient semantic segmentation of remote sensing urban scene imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2022. Vol. 190. P. 196–214.
6. Wang Y., Wang M., Hao Z., Wang Q., Wang Q., Ye Y. MDFA-Net: Multi-scale differential feature self-attention network for building change detection in remote sensing images. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, № 18. P. 3466.
7. Zhao W., Persello C., Stein A. Building outline delineation: From very high resolution remote sensing images to polygons with an improved end-to-end learning

framework. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2021. Vol. 179. P. 364–378.

8. Yang G., Zhang Q., Zhang G. EANet: Edge-aware network for the extraction of buildings from aerial images. Remote Sensing. 2020. Vol. 12, № 13. P. 2161.

9. Wang Y., Chen C., Ding M., Li J. Real-time dense semantic labeling with dual-Path framework for high-resolution remote sensing image. Remote Sensing. 2019. Vol. 11, № 24. P. 3020.

10. Chen L., Papandreou G., Schroff F., Adam H. Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation. arXiv preprint arXiv:1706.05587. 2017.

11. Zhang L., Wu J., Fan Y., Gao H., Shao Y. An efficient building extraction method from high spatial resolution remote sensing images based on improved mask R-CNN. Sensors. 2020. Vol. 20, № 5. P. 1465.

12. Xie E., Wang W., Yu Z., Anandkumar A., Alvarez J.M., Luo P. SegFormer: Simple and efficient design for semantic segmentation with transformers. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). 2021. Vol. 34. P. 12077–12090.

13. Girard N., Smirnov D., Solomon J., Tarabalka Y. Polygonal building extraction by frame field learning. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2021. P. 5891–5900.

14. Zorzi S., Bazrafkan S., Habenschuss S., Fraundorfer F. PolyWorld: Polygonal building extraction with graph neural networks in satellite images. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022. P. 1848–1857.

15. Li Z., Wegner J.D., Lucchi A. Topological map extraction from overhead images. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). 2019. P. 1715–1724.

16. Zhang Y., Gong W., Sun J., Li W. Web-Net: A novel nest networks with ultra-hierarchical sampling for building extraction from aerial imageries. Remote Sensing. 2019. Vol. 11, № 16. P. 1897.

17. Cheng G., Wang Y., Xu S., Wang H., Xiang S., Pan C. Automatic road detection and centerline extraction via cascaded end-to-end convolutional neural network. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2017. Vol. 55, № 6. P. 3322–3337.

18. He K., Gkioxari G., Dollár P., Girshick R. Mask R-CNN. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2017. P. 2961–2969.

19. Kirillov A., Mintun E., Ravi N., Mao H., Rolland C., Gustafson L., Girshick R. Segment anything. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). 2023. P. 4015–4026.

20. Ji S., Wei S., Lu M. Fully convolutional networks for multisource building extraction from an open aerial and satellite imagery data set. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2019. Vol. 57, № 1. P. 574–586.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 15.11.2025	Received 15.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

I. A. Radion*

PhD student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9831-454X>

Department of Geodesy, Land Management and Cadastre

Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Avenue, Lutsk, Ukraine, 43025

O. V. Melnyk

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>

Department of Geodesy, Land Management and Cadastre

Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Avenue, Lutsk, Ukraine, 43025

*corresponding author, e-mail: radionigor11@gmail.com

Modern neural network methods for building vectorization from high-resolution satellite imagery

How to Cite:

Radion, I. A., Melnyk, O. V. (2025). Modern neural network methods for building vectorization from high-resolution satellite imagery, 24, 340-347. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-28](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-28)

Abstract. Background. Automatic vectorization of buildings from satellite imagery is a key task for mapping and cadastral purposes. Modern deep learning methods have achieved high raster accuracy (IoU 85-92%), yet a fundamental problem remains: segmentation optimization does not guarantee the generation of geometrically and topologically correct vector polygons. Studies report significant angular deviations (up to 8.3°), non-parallel walls, and a high rate of topological errors (12-18%). Poor generalization to new regions and the omission of small objects also remain challenges.

To systematize and analyze modern deep learning methods for building vectorization, with a focus on the problems of geometric regularity, topological correctness, and generalization.

A review of publications from 2015-2024 (CVPR, ISPRS, etc.) using benchmark datasets (SpaceNet, WHU, INRIA) was conducted. Evaluation metrics included IoU and F1-score for raster accuracy, as well as PoLiS and Chamfer Distance for vector quality. Methods were classified into three groups: CNN-based (U-Net, DeepLab), transformer-based (Swin, SegFormer), and end-to-end methods (Frame Field Learning, GNN).

CNN architectures remain an effective baseline. Transformers demonstrate the highest raster accuracy (IoU >90%) but are computationally expensive. End-to-end methods, such as Frame Field Learning and PolyWorld, which generate vectors directly by bypassing the polygonization step, show slightly lower raster accuracy but significantly better vector quality (PoLiS ~73%), which is critical for cadastral applications.

A trade-off exists: transformers lead in raster accuracy (IoU 85-92%), while end-to-end methods (IoU 82-88%) provide significantly higher vector quality (PoLiS 70-73%). Promising research directions include integrating geometric constraints into network architectures, developing topology-aware loss functions, improving generalization, and multimodal approaches combining optical imagery with LiDAR data.

Keywords: building vectorization, deep learning, neural networks satellite imagery, semantic segmentation, transformers, polygonization, topology

D.I. Rozmus*

PhD student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8119-5534>

Department of Highways and Bridges.

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79000

*corresponding author, e-mail: dmytro.i.rozmus@lpnu.ua

Mechanical performance and fracture behaviour of roller compacted concrete with organo-mineral additives

How to Cite:

Rozmus, D.S. (2025). Mechanical performance and fracture behaviour of roller compacted concrete with organo-mineral additives. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 348-357. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-29](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-29)

Abstract. In recent years, Roller Compacted Concrete (RCC) has gained increasing attention in pavement construction due to its economic advantages, rapid placement, and the ability to utilize locally available materials. Despite the long history of RCC application worldwide, its use in Ukraine remains limited, which highlights the need for further research and adaptation of this technology to local conditions. An important direction of modern studies is the development of RCC mix designs incorporating partial cement replacement with active mineral additives and the use of a complex plasticizing admixture. This approach aligns with current trends aimed at reducing cement consumption, lowering energy demand, and decreasing CO₂ emissions, thereby contributing to more sustainable and environmentally responsible construction practices. This paper presents the results of experimental investigations of the mechanical properties and microstructure of RCC produced using locally sourced materials. The research methodology included optimizing the mix composition, determining workability parameters, and conducting comprehensive tests on hardened concrete specimens. The results demonstrated that the combined action of the chemical admixture and fly ash promotes densification of the cement matrix, activates hydration processes, and leads to the formation of additional hydration products, resulting in a more uniform and dense microstructure. The optimized RCC mix modified with a superplasticizer and fly ash exhibits a significant increase in compressive and flexural strengths compared to the reference composition. The findings confirm the effectiveness of organo-mineral additives in improving the mechanical performance and durability of RCC, supporting the feasibility of broader implementation of this technology in Ukrainian pavement and industrial construction.

Keywords: roller compacted concrete (RCC), fly ash, superplasticizer, compressive strength, cement replacement.

Introduction

Analysis of literary sources and problem statement. Roller-compacted concrete (RCC), which gets its name from the construction method used to place it, is a slump-free concrete in the uncured state. It is defined as concrete compacted by a roller according to Reporton Roller-Compacted Mass Concrete (ACI 207.5R-11).

This ensures effective consolidation, which is critical to achieving satisfactory density, strength (compressive strength can be greater than 60 MPa), smoothness, and surface texture. Roller-compacted concrete is manufactured without joints, formwork, finishing, steel reinforcement or dowels.

These properties make compacting concrete with rollers simple, fast and economical. The cost-effectiveness of compacted roller concrete is largely due to high-speed construction methods.

Today, RCC is used when strength, durability and cost-effectiveness are paramount. It is used for the construction and rehabilitation of dams, roads, airfields, parking lots, power plants, roadsides, storage facilities, military installations and other industrial complexes. Depending on the desired thickness and width of the installation, concrete can be placed very quickly - from 60 to 120 meters per hour.

In Ukraine, most cement concrete pavements were built in the 50s...70s of the last century. Almost all of them need repair or have already been repaired using asphalt concrete pavements. Out of about 170 thousand public roads, only 2.4 thousand have cement concrete pavement, which is only 1.4%. In new construction, preference should be given to high-strength concrete pavements (B40 - B60 and above)

Abroad, the estimated service life of rigid pavements is 35-50 years, while in Ukraine it is 25-40 years. The length of roads with cement concrete pavement in Ukraine is about 3 thousand km, which corresponds to a share of 6% for roads with improved pavement [1].

As we can see, despite the significant experience of RCC application in the world, its use in Ukraine remains limited. This is due to a lack of research on optimizing the composition of the mixture adapted to local materials and climatic conditions. An important area of RCC improvement is the introduction of active mineral additives, such as fly ash, as well as the use of modern superplasticizers to improve its physical and mechanical characteristics. This approach helps to reduce cement consumption and, consequently, CO₂ emissions, which meets modern environmental requirements.

Research aim and objectives. The aim of the study is to examine the influence of organo-mineral additives, particularly fly ash and a complex plasticizing admixture, on the physical and mechanical properties, fracture toughness, and microstructure of Roller Compacted Concrete (RCC) produced with locally available materials. To achieve this goal, the study involved an analysis of the current state of RCC application in pavement construction and the

feasibility of its implementation under Ukrainian conditions. A modern RCC mix was designed and optimized by partially replacing cement with fly ash and introducing a complex chemical admixture that reduces the water-cement ratio and enhances the concrete’s structural density. Experimental investigations were carried out to determine the mechanical properties, fracture behavior, and microstructural features of hardened RCC, as well as to assess the influence of additives on cement hydration processes. The obtained results made it possible to evaluate the effectiveness of using local materials to improve the strength, durability, and environmental sustainability of concrete pavements.

Materials and methods

The primary binding material in this work was commercial Portland cement CEM I 42.5R, which is readily accessible locally. The cement's mechanical and physical qualities were examined in accordance with DSTU B V.2.7-46:2010, and Table 1 presents the findings.

Table 1. Physical and mechanical properties of the CEM I 42.5R

Specific surface, m ² /kg	Water demand, %	Setting time, min	
		initial	final
340	29.5	160	210

Quartz sand was used as fine aggregate. Its full and partial residues can be seen in Fig. 1.

The role of coarse aggregate was played by gravel of three different fractions (3-8, 5-10, 10-20). Their particle size distribution is shown in Fig. 1.

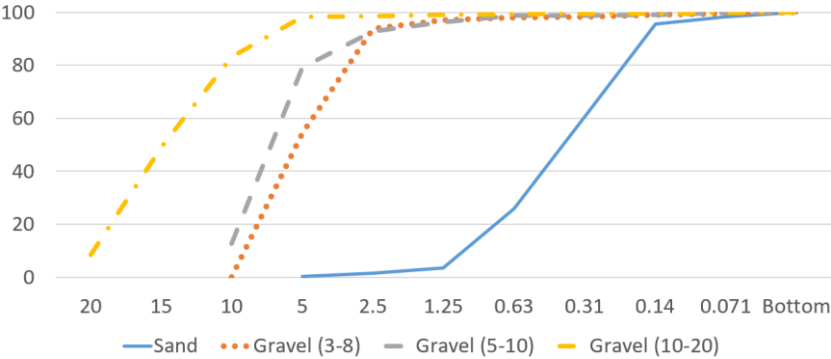


Fig. 1. Granulometric composition of coarse and fine aggregates

Subsequently, fly ash and a chemical admixture with plasticizing and air-entraining effects were used to modify the composition.

All RCC compaction methods involve determining the relationship between density and moisture content in the mixture to achieve maximum density by compacting samples at different moisture levels [2,3].

For a given percentage of cementitious materials, different moisture values are selected, based on which a graph of density versus moisture is drawn. In most cases, the optimal moisture content of aggregates is in the range of 5% to 8%. It is recommended to change the moisture content within these limits, as shown in Figure 1, or within the limits determined on the basis of previous experience with specific aggregates [4,5].

Various methods are available to achieve optimal compaction, such as: proctor method, gyratory compactor, vibration with a load (vibrating hammer) and vibrating table.

In our case, the vibrating hammer was used to form the beam samples, and the proctor method was used to form the cylinder samples.

An organo-mineral additive with a complex air-entraining and plasticizing effect was used as a modifier for rolled concrete. The plasticizing effect is provided by reducing the water-cement ratio (W/C) while maintaining the required rheology of the mixture, which contributes to an increase in the density and mechanical characteristics of concrete. In addition, the mineral component of the additive participates in hydration processes, changing the microstructure of the cement stone and promoting the formation of additional hydrate phases, which improves the adhesion between the cement matrix and the filler [6,7].

To determine the optimal concentration of the additive in the concrete mix, experimental studies were conducted to assess its effect on the rheological, physical, mechanical and fractographic characteristics of the rolled concrete.

Design of concrete composition

The particle size distribution and optimum moisture content of the concrete mix are key factors that influence the formation of its technological properties. The correct selection of the aggregate grain size distribution ensures the density, uniformity and strength of the finished material, while the optimal moisture content contributes to uniform compaction and interaction of the components during rolling. In road concrete, these parameters determine the durability, resistance to external influences and efficiency of the technological process of pavement construction.

In the available literature, the influence of particle distribution on the mechanical, durability, and freshness properties of concrete made by vibropressing has been studied. It is noted that many of these properties depend on the distribution of particles and their specific surface. In addition, the hardened and fresh characteristics of cemented material also depend significantly on the particle size distribution and their surface.

The main goal of all methods of selecting the composition of cement concrete is to create such a packing of aggregate particles that leads to the

maximum concrete density at all levels of its structure for each specific case, and to reduce porosity. This will increase not only the strength characteristics of concrete, but, above all, its durability in aggressive environments. This is especially important for road concrete, which constantly operates under the simultaneous effects of mechanical loads from traffic, climatic factors and liquid salt media. The ratio of coarse to fine aggregate plays a special role in increasing the density of concrete [8,9].

Cement is the bonding agent in a concrete mix that ensures its bonding and strength. A large amount of cement can lead to excessive strength, but it can also increase costs and degrade workability. According to the particle size distribution, the optimal amount of cement is added to achieve the required strength and workability of the concrete. The amount of cement used should be kept to a minimum, but the proper strength should be achieved [10].

In our case, it was decided to form three compositions of concrete mix with different cement content. Since C-220 showed the best density and strength characteristics, it was decided to approve it as a control composition and further modify it with organic admixture (fly ash - 100 kg per m³ and plasticizing additive with air-entraining effect - 0.6 percent by weight of cement C-220M). The composition of the mixtures is given in Table 2.

Table 2. Compositions of cement concrete mixtures

	C-260	C-280	C-220	C-220M
Cement	260	280	220	220
Fly ash , kg	-	-	100	100
Sand	735	710	680	662
Gravel (3-8)	125	120	125	120
Gravel (5-10)	386	386	386	386
Gravel (10-20)	764	764	764	764
Water	117	117	117	109
Admixture, kg	-	-	-	1,9
Vebe time	38	32	39	36
Average density kg/m ³	2451.9	2437.2	2470.2	2447.1

Test results

To evaluate the physical and mechanical characteristics of concrete, standard cubic samples measuring 10×10×10cm were tested, made from different concrete mix compositions: C-260, C-280, C-220, and a modified composition C-220M, which contained an organo-mineral additive (fly ash and a complex plasticizer with air-entraining action). After forming, the samples were kept under

normal curing conditions ($t = 20 \pm 2$ °C, $\phi = 95 \pm 5$ %) until compression testing at 28 and 56 days.

The tests were performed in accordance with the requirements of standards on a hydraulic press with a constant loading rate. Three samples were tested for each composition, and the results were used to determine the average compressive strength. The results are shown in Fig 2.

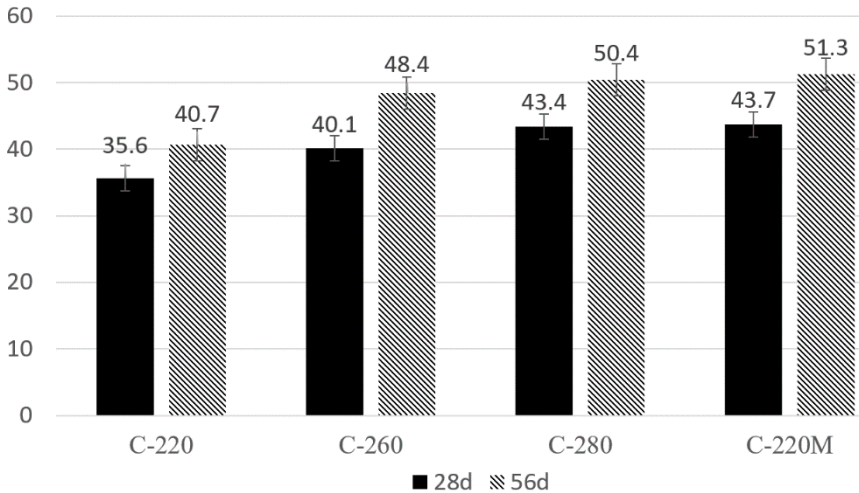


Fig. 2. Compressive strengths at 28 and 56 days, MPa.

The analysis of the results shows that the introduction of an organo-mineral additive significantly affected the strength characteristics of concrete. For the base composition C-220, the average compressive strength was about 42.7 MPa on day 28. The addition of a plasticizer and fly ash to the C-220M composition increased this indicator to 49.5 MPa, after further hardening for 56 days, the strength increased to 54.2 MPa.

The increase in strength can be explained by several factors. First, the introduction of a superplasticizer made it possible to reduce the water-cement ratio without deteriorating the rheological properties of the mixture, which contributed to the compaction of the cement stone and a decrease in porosity. Second, finely dispersed fly ash exhibited pozzolanic activity, entering into secondary hydration reactions with the formation of additional calcium hydrosilicates, which fill micropores and increase the density of the microstructure. As a result, the structure of the concrete became more homogeneous, and the bond between the cement matrix and the aggregate grains became stronger.

This improvement is a key indicator of long-term durability, especially for concrete exposed to freeze–thaw cycles and the action of de-icing salts in real operating conditions. These findings collectively confirm the positive influence of the organo-mineral additive on both the mechanical and durability-related characteristics of roller-compacted concrete.

Conclusions

The results of the experiments showed that the physical and mechanical qualities of roller-compacted concrete (RCC) are much enhanced by the addition of a complex organo-mineral additive that combines the action of fly ash and a plasticizer with an air-entraining effect. When these factors work together, the cement matrix develops more favorably during the hardening process. The material's density and homogeneity noticeably rise as a result of the water-to-cement ratio being reduced, the cement stone structure being compacted, and the hydration processes being more intense. The adjusted mixture exhibits better performance under normal stress circumstances and a more stable structure that is less likely to produce internal flaws.

Furthermore, by optimizing the internal pore structure, these additives help create a material that is more resilient to environmental impacts. A more continuous and defect-resistant cement matrix is formed as a result of the enhanced microstructural development, which is crucial for the long-term performance of RCC under actual operating circumstances. The observed alterations are in line with broad patterns documented in recent research on the use of chemical and mineral admixtures to modify cement-based composites.

The findings verify that adding a complicated organo-mineral to roller-compacted concrete is feasible. By using industrial by-products, this modification allows for the simultaneous improvement of concrete's strength and structural density, reduction of cement consumption, and enhancement of production's environmental performance. In addition to the immediate mechanical advantages, using these additives supports more sustainable material design concepts, which are in line with the current worldwide trend toward resource efficiency.

The enhanced C-220M composition shows promise for use in road and hydraulic engineering projects, where the material must be more durable due to extended static and dynamic stresses. Longer service life and lower maintenance requirements can be supported in these areas by the increased material homogeneity and structural stability obtained via the application of organo-mineral additives.

References

1. Artur Onishchenko, Natalia Chyzhenko Estimation of durability of cement concrete pavement of roads // *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2020. Iss. 22. P. 138-148. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.138>

2. Vahedifard, F., Nili, M., & Meehan, C. L. (2010). Assessing the effects of supplementary cementitious materials on the performance of low-cement roller compacted concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 24(12), 2528-2535. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.003>
3. Issa, I. M., & Zollinger, D. G. (2021). Modelling compactibility of RCC specimens using the asphalt gyratory compactor. *Construction and Building Materials*, 310, 125271. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125271>
4. Ouellet, J., Roesler, J. R., & DeSantis, J. W. (2024). Gyratory compactor and mixture volumetric evaluation of roller-compacted concrete for pavement constructability. *Construction and Building Materials*, 456, 139103. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139103>
5. Toshikhani, A., & Debbarma, S. (2025). Moisture availability and hydration kinetics in roller compacted concrete pavement mixtures due to internal curing—A multiscale approach using Power’s model. *Construction and Building Materials*, 500, 144264. <https://doi.org/10.1061/9780784479216.0>
6. Raczkiewicz, W. (2018). Influence of the air-entraining agent in the concrete coating on the reinforcement corrosion process in case of simultaneous action of chlorides and frost. *Advances in Materials Science*, 18(1), 13. <https://doi.org/10.1515/adms-2017-0023>
7. Kalhori, M., & Ramezani-pour, A. A. (2021). Innovative air entraining and air content measurement methods for roller compacted concrete in pavement applications. *Construction and building materials*, 279, 122495. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122495>
8. Cheng, Y. H., Zhu, B. L., Yang, S. H., & Tong, B. Q. (2021). Design of concrete mix proportion based on particle packing voidage and test research on compressive strength and elastic modulus of concrete. *Materials*, 14(3), 623. <https://doi.org/10.3390/ma14030623>
9. Golewski, G. L. (2023). Effect of coarse aggregate grading on mechanical parameters and fracture toughness of limestone concrete. *Infrastructures*, 8(8), 117. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8080117>
10. Yang, Y., Chen, B., Su, Y., Chen, Q., Li, Z., Guo, W., & Wang, H. (2020). Concrete mix design for completely recycled fine aggregate by modified packing density method. *Materials*, 13(16), 3535. <https://doi.org/10.3390/ma13163535>

Література

1. Artur Onishchenko, Natalia Chyzhenko Estimation of durability of cement concrete pavement of roads // *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2020. Iss. 22. P. 138-148. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.138>
2. Vahedifard, F., Nili, M., & Meehan, C. L. (2010). Assessing the effects of supplementary cementitious materials on the performance of low-cement roller compacted concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 24(12), 2528-2535. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.003>

3. Issa, I. M., & Zollinger, D. G. (2021). Modelling compactibility of RCC specimens using the asphalt gyratory compactor. *Construction and Building Materials*, 310, 125271. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125271>
4. Ouellet, J., Roesler, J. R., & DeSantis, J. W. (2024). Gyratory compactor and mixture volumetric evaluation of roller-compacted concrete for pavement constructability. *Construction and Building Materials*, 456, 139103. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139103>
5. Toshihkhani, A., & Debbarma, S. (2025). Moisture availability and hydration kinetics in roller compacted concrete pavement mixtures due to internal curing—A multiscale approach using Power’s model. *Construction and Building Materials*, 500, 144264. <https://doi.org/10.1061/9780784479216.0>
6. Raczkiewicz, W. (2018). Influence of the air-entraining agent in the concrete coating on the reinforcement corrosion process in case of simultaneous action of chlorides and frost. *Advances in Materials Science*, 18(1), 13. <https://doi.org/10.1515/adms-2017-0023>
7. Kalhori, M., & Ramezaniapour, A. A. (2021). Innovative air entraining and air content measurement methods for roller compacted concrete in pavement applications. *Construction and building materials*, 279, 122495. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122495>
8. Cheng, Y. H., Zhu, B. L., Yang, S. H., & Tong, B. Q. (2021). Design of concrete mix proportion based on particle packing voidage and test research on compressive strength and elastic modulus of concrete. *Materials*, 14(3), 623. <https://doi.org/10.3390/ma14030623>
9. Golewski, G. L. (2023). Effect of coarse aggregate grading on mechanical parameters and fracture toughness of limestone concrete. *Infrastructures*, 8(8), 117. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8080117>
10. Yang, Y., Chen, B., Su, Y., Chen, Q., Li, Z., Guo, W., & Wang, H. (2020). Concrete mix design for completely recycled fine aggregate by modified packing density method. *Materials*, 13(16), 3535. <https://doi.org/10.3390/ma13163535>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 21.11.2025	Received in revised form 21.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Д.І. Розмус*

Аспірант-студент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8119-5534>

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79000

*автор-кореспондент, e-mail: dmytro.i.rozmus@lpnu.ua

Механічні характеристики та поведінка при руйнуванні укочуваного бетону з органо-мінеральними добавками

Цитувати як:

Розмус Д.І. (2025). Механічні характеристики та поведінка при руйнуванні укочуваного бетону з органо-мінеральними добавками *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 348-357. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-29](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-29)

Анотація. Останніми роками укочуваний бетон (RCC) привертає все більшу увагу у сфері дорожнього будівництва завдяки своїм економічним перевагам, високій швидкості укладання та можливості використання доступних місцевих матеріалів. Незважаючи на тривалу історію застосування RCC у багатьох країнах світу, в Україні ця технологія поки що застосовується обмежено, що зумовлює потребу у поглибленому вивченні її ефективності. Важливим напрямом сучасних досліджень є розроблення рецептури RCC із частковою заміною цементу активними мінеральними добавками та використанням комплексного пластифікатора. Такий підхід відповідає актуальним тенденціям зменшення цементозатрат, енергоспоживання та скорочення викидів CO₂, що є ключовим для підвищення екологічної стійкості будівництва. У статті представлено результати експериментальних досліджень механічних властивостей і мікроструктури RCC, виготовленого з використанням місцевих вихідних матеріалів. Методика роботи охоплювала оптимізацію складу бетонної суміші, визначення параметрів укладальності та комплексне випробування зразків у затверділому стані. Отримані результати засвідчили, що поєднання комплексної хімічної добавки та золи виносення сприяє ущільненню мікроструктури цементного каменю, активізації гідратаційних процесів і формуванню додаткових гідратних фаз, що позитивно позначається на рівномірності та щільності структури матеріалу. Оптимізований склад RCC, модифікований суперпластифікатором та золою виносення, забезпечує суттєве підвищення міцності на стиск порівняно з контрольним зразком. Отримані дані підтверджують перспективність використання органо-мінеральних добавок для покращення механічних характеристик та довговічності укочуваного бетону, що створює підґрунтя для ширшого впровадження цієї технології в дорожньому та промисловому будівництві України.

Ключові слова: укочуваний цементобетон, зола виносу, міцність суперпластифікатор, заміна цементу.

УДК 539.422.2

Р. І. Розум*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7812-8248>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

А. О. Вітровий

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2885-3745>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

М. Я. Шпінталь

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9864-7050>

Кафедра комп'ютерних наук

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

А. Є. Буяк

к.е.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3756-6687>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

П. В. Попович

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

*автор-кореспондент, e-mail: rozzoom_ruslan@ukr.net

Вплив зовнішнього середовища на міцність і довговічність будівельних металоконструкцій та несучих елементів будівельної техніки

Цитувати як:

Розум, Р. І., Вітровий, А. О., Шпінталь, М. Я., Буяк, А. Є., Попович, П. В. (2025). Вплив зовнішнього середовища на міцність і довговічність будівельних металоконструкцій та несучих елементів будівельної техніки. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 358-366. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-30](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-30)

© 2025, Розум Р. І., Вітровий А. О., Шпінталь М. Я., Буяк А. Є., Попович П. В.

У статті розглянуто вплив корозійно-агресивних чинників зовнішнього середовища, а саме різних типів ґрунтів, на міцність і довговічність будівельних металоконструкцій та несучих металевих елементів будівельної техніки. Відмічено, що комплексна дія температурних коливань, вологості, хімічно-активних компонентів та динамічних навантажень зумовлює поступове зниження міцності металів, наслідком чого є розвиток корозійно-втомних тріщин. Досліджено закономірності швидкості протікання корозії при умові контакту металевих елементів із різними типами ґрунтів, що відрізняються по складу, структурі, вологості та ступеню аерації. В процесі дослідження використано комплекс експериментальних методів, до яких відносяться: ваговий, потенціометричний та мікроскопічний аналіз, які дозволили провести оцінку швидкості протікання корозії, електрохімічну активність середовища, а також

характер пошкоджуваності металевих зразків. На основі одержаних результатів проведено класифікацію типів ґрунтів по рівню їх корозійної активності, що дозволило встановити найбільш агресивні їх типи (болотисті, торф'яні, мулові та глинисті ґрунти), а також ґрунти із мінімальним корозійним впливом (піщані та вапнякові). Одержані результати свідчать, що правильна та своєчасна оцінка величини корозійної активності ґрунтів це один із основних чинників, який визначає довговічність експлуатації будівельних металоконструкцій і металевих елементів будівельної техніки. Встановлення рівня агресивності ґрунтового середовища дозволяє не тільки робити прогноз швидкості протікання корозійних процесів, а також обґрунтовано робити вибір конструкційних матеріалів, способів їх захисту та типів покриття, що дозволить забезпечити довготривалу стійкість до впливу зовнішнього середовища. Таким чином, використання системного підходу до оцінки корозійної активності ґрунтів є важливим елементом інженерного проектування та технічного обслуговування будівельних об'єктів і будівельної техніки. Що, в свою чергу, забезпечує підвищення надійності, зниження ризиків аварійних ситуацій і тривале подовження терміну безпечної експлуатації будівельних металоконструкцій і будівельної техніки.

Ключові слова: будівельні металоконструкції, будівельна техніка, корозія металу, ґрунтова корозія, корозійна активність ґрунтів, міцність, довговічність.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Будівельні металоконструкції та несучі металеві елементи будівельної техніки піддаються впливу великої кількості зовнішніх чинників. До них відносяться температурні коливання, перепади вологості, вплив корозійно-активних складових, а також дії динамічних навантажень. Усі перелічені чинники як окремо так і в поєднанні зумовлюють поступове зниження міцності та довговічності металевих елементів будівельних конструкцій та будівельної техніки. До найбільш руйнівних відноситься дія корозійно-агресивних середовищ, що зумовлюють пришвидшення деградації матеріалів несучих елементів, а отже скорочують їх залишковий ресурс [1 – 10].

Відомим є той факт, що ріст корозійно-втомних тріщин проходить значно швидше ніж ріст звичайних втомних тріщин [1, 2, 8, 9]. Це зумовлено поєднанням дії механічних та хімічних чинників, що зумовлює замкненість циклу «корозія – тріщиноутворення – корозія», чим прискорюється деградація матеріалу.

З огляду на вищесказане, в процесі дослідження міцності та довговічності будівельних металоконструкцій і несучих металевих елементів будівельної техніки необхідно проводити врахування впливу корозійно-активних складових зовнішнього середовища не тільки на загальну швидкість поширення корозії, а також на розвиток і поширення втомних процесів у матеріалі. Особливу увагу необхідно приділяти зонам

зварних з'єднань, стиків металевих елементів та місць у яких відбувається накопичення вологи [7 – 9].

Не дивлячись на велику кількість досліджень у сфері проблем корозії, є необхідність подальшого вивчення впливу корозійно-агресивного середовища на процеси зародження та подальшого розвитку корозійно-втомних тріщин у будівельних металоконструкціях та несучих металевих елементах будівельної техніки.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є аналіз впливу корозійно-агресивних чинників зовнішнього середовища, перш за все різних типів ґрунтів, на міцність і довговічність будівельних металоконструкцій та несучих металевих елементів будівельної техніки.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних завдань: провести аналіз наукових джерел, присвячених проблематиці корозії металів та впливу зовнішніх чинників на процеси деградації матеріалів; дослідити вплив різних типів ґрунту на протікання корозійних процесів.

Матеріали та методи

Методикою досліджень передбачено використання зразків сталей, які найбільш часто застосовуються у будівельних конструкціях і будівельній техніці – низьковуглецеві та низьколеговані сталі марок Ст3, 09Г2С та 10ХСНД, що відрізняються по хімічному складу та механічних характеристиках, а також володіють різним рівнем стійкості до корозії.

Дослідження виконувалися в умовах, максимально наближених до реальних умов експлуатації будівельних металоконструкцій і будівельної техніки. Зразки піддавалися впливу різних типів ґрунтів (болотисті, торф'яні, глинисті, лесові, суглинкові, піщані та вапнякові), які відрізнялися між собою по структурі, мінералогічному складу, ступеню вологості та рівню аерації.

Для дослідження закономірностей розвитку корозійних процесів нами було використано наступні методи дослідження: ваговий метод – для встановлення зміни маси металевих зразків; потенціометричний метод – для аналізу електрохімічної активності різних типів ґрунтів і ступеня їх агресивності; мікроскопічний – для оцінки характеру ураження металу, а також глибини корозійної пошкодженості.

Результати та обговорення

На будівельні металоконструкції та будівельну техніку в процесі експлуатації впливають різноманітні чинники, які зумовлюють розвиток корозії. Швидкість протікання корозійних процесів залежить від багатьох факторів, до яких належать: ступінь агресивності середовища та тривалість його впливу, матеріал несучих елементів, наявність (відсутність) захисного покриття тощо. Дослідження показують, що швидкість протікання

атмосферної корозії металевих елементів за наявності агресивних домішок (залишків хімічних речовин, ґрунту, розчинів солей тощо) може збільшуватися у рази в порівнянні із звичайними умовами. Так, для прикладу, залишки хімічних речовин, які знаходяться на поверхні, взаємодіючи із вологою, утворюють електроліти, що стають каталізаторами електрохімічних процесів руйнування металу. Дослідження зламів демонструє те, що причиною більшості руйнувань є глибока корозія, яка з часом зумовлює виникнення втомних тріщин. До найбільш вразливих категорій відносяться тонкостінні металеві профілі та тонколистові сталі, у яких навіть невелика локальна корозія може зумовити втрату несучої здатності.

Одним із експлуатаційних корозійно-агресивних факторів є водний розчин ґрунтів, що перебувають у контакті із металевими частинами будівельних конструкцій та елементами будівельної техніки. Це пояснюється тим, що ґрунти в своєму складі містять органічні кислоти, солі та мікроорганізми, які є каталізаторами електрохімічних процесів.

Величина корозії металевих елементів будівельних конструкцій та будівельної техніки під дією впливу ґрунтів є складним комплексним процесом. Корозійна активність ґрунтів залежить від їх мінералогічного складу, вологості, величини органічної складової, ступеню аерації й активності мікроорганізмів. Для підвищення надійності та довговічності будівельних металоконструкцій і несучих металевих елементів будівельної техніки необхідно володіти чітким розумінням щодо агресивності різних типів ґрунтів, оскільки дані про властивості та корозійну активність останніх забезпечують можливість їх класифікації по ступеню небезпеки для металевих елементів, а також можливість вибору оптимальних методів їх захисту. Класифікацію основних типів ґрунтів по рівню корозійної активності показано у таблиці 1.

Таблиця 1. Класифікація ґрунтів по рівню корозійної активності

Тип ґрунту	Основні характеристики	Причини або чинники корозійної активності	Рівень корозійної активності
Болотисті ґрунти, торф'яники	Включають сірководень, органічні кислоти, іноді – сірчану кислоту	Кислотна корозія через високу концентрацію агресивних речовин	Високий
Гумусові ґрунти	Висока буферна здатність, слабка аерація, включення сульфідів	Розклад органічних сполук зумовлює	Високий

		виникнення сульфідів	
Глина	Присутність сульфатовідновлювальних бактерій та сульфатів	Біохімічна активність бактерій	Високий
Ял	Щільна структура	Обмежена аерація, утримання вологи	Дуже високий
Шлик	Органічні, глинисті, вапняні компоненти, присутність сульфиду заліза	Зростання агресивності з підвищенням вмісту сульфиду заліза	Високий
Шлам	Глинисті відкладення з органічними домішками, анаеробний	Продукти розкладу органічних домішок прискорюють корозію	Дуже високий
Лес	Шарувата осадова порода, містить оксиди Na, K, Ca	Без сульфідів – слабкоагресивний; із сульфідами – активний	Середній / Високий (залежно від складу)
Суглинок	Суміш глини та піску з домішками заліза	Подібна активність до лесу	Середня
Марш	Відкладення з суглинку, мулу, глини, торфу; анаеробний, вологий, солоний	Висока вологість і концентрація солей	Дуже високий
Вапняк	Осадова дрібнозерниста порода з CaCO_3 , аеробний	Важкорозчинний склад, добра аерація	Низький / відсутній
Мергель	Суміш глини та вапняку (вапняковий, глинистий, піщаний)	Корозійна активність близька до суглинку	Середній
Пісок	Скупчення зерен кварцу різного розміру, у вологодному стані – анаеробний	Низько-агресивне середовище	Низький / відсутній

Аналіз таблиці 1 показує, що найвищу агресивною дією володіють болотисті, торф'яні, мулові та глинисті ґрунти, зокрема ті, що містять сульфати, сульфід заліза або продукти розкладу органічних речовин. На

відміну від них вапнякові та піщані ґрунти мають мінімальний вплив на протікання корозійних процесів за рахунок високої аерації та низької концентрації агресивних складових.

Висновки

Таким чином, правильна оцінка величини корозійної активності ґрунтів це необхідна умова для оптимального вибору методу антикорозійного захисту металевих елементів будівельних конструкцій і будівельної техніки, а також забезпечення їх надійності та довговічності в процесі експлуатації.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Yantsevych, K. V. (2025). *Protykoroziyni zakhyt vuhletsevykh stalei dyfuziynym pokryttiamy na osnovi khromu ta sylitsiui*. Dysertatsiia na здобuttia naukovoho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 05.17.14 «Khimichniy opir materialiv ta zakhyt vid korozii». – Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho», Kyiv, 2025. <https://ela.kpi.ua/items/5d489aac-3962-40b1-b43b-d7dac7384f45>
2. Khoma M.S. (2021) Stan i perspektyvy rozvytku doslidzhen u haluzi korozii ta protykoroziinoho zakhytu konstruktivnykh materialiv v Ukraini. *Visnyk NAN Ukrainy*, 12, 99-106. <https://doi.org/10.15407/visn2021.12.099>
3. Ivanenko, K. M., Starchak, V. H., Machulskyi, H. M., Buialska, N. P., Tsybulia, S. D., & Kostenko, I. A. (2020). Innovatsiina tekhnolohiia poverkhnoveho zmitsnennia z ekolohichno bezpechnym protykoroziynym zakhytom. *Problemy korozii ta protykoroziinoho zakhytu materialiv*, 13, 188-192. https://ipm.lviv.ua/corrosion2020/Chapter_02/XIV_188_TSYBULIA.pdf
4. Borysenko Yu.V. Materialy suchasnoi tekhniky ta zakhyt vid ruinuвання: navchalnyi posibnyk. K.: KNUtD, 2016. 111 c. https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/2223/3/20161004_Borisenko_NP.pdf

5. Belopolskyi M. H., Korolov P. V. (2017) Upravlinnia ryzykamy korozii noi nebezpeky yak chynnyk staloho rozvytku promyslovykh pidpriemstv. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu*, 2(48), 168-176. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecvud_2017_2_23
6. Dziadykevych Yu.V., Popovych P.V., Vitrovyy A.O., Rozum R.I., Chorna O.V., Zakharchuk O.P., Halysh N.A., Tsydilo Z.M., Shok K.P. Sumisnist komponentiv materialiv u tsyvilnii inzhenerii. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*. - 2023. - Vyp. 8(2). - S. 91-97. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.91-97](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.91-97)
7. Buriak M.V., Rozum R.I., Zakharchuk O.P., Popovych P.V., Prohniy P.B., Chornii L.N. Vplyv ahresyvnykh seredovyshch na ekspluatatsiini kharakterystyky materialiv nesuchykh konstrukttsii kolisnykh transportnykh zasobiv. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*. - 2023. - Vyp. 7(38). - S. 143-150. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.143-150](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.143-150)
8. William D. Callister Jr., David G. Rethwisch. Callister's Materials Science and Engineering. Wiley; 10th edition, 2018. 975 p. <https://surl.li/osyhyv>
9. Adrian P. Sutton FRS. Concepts of Materials Science. OUP Oxford, 2021. 160 p. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9780192661586_A42058229/preview-9780192661586_A42058229.pdf
10. Gale, W. F., and T. C. Totemeier (Editors), Smithells Metals Reference Book, 8th edition, Elsevier ButterworthHeinemann, Oxford, 2004. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9780080480961_A23516914/preview-9780080480961_A23516914.pdf

Література

1. Янцевич, К. В. (2025). Протикорозійний захист вуглецевих сталей дифузійними покриттями на основі хрому та силіцію. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.14 «Хімічний опір матеріалів та захист від корозії». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2025. <https://ela.kpi.ua/items/5d489aac-3962-40b1-b43b-d7dac7384f45>
2. Хома М.С. (2021) Стан і перспективи розвитку досліджень у галузі корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів в Україні. *Вісник НАН України*, 12, 99-106. <https://doi.org/10.15407/vism2021.12.099>
3. Іваненко, К. М., Старчак, В. Г., Мачульський, Г. М., Буяльська, Н. П., Цибуля, С. Д., & Костенко, І. А. (2020). Інноваційна технологія поверхневого зміцнення з екологічно безпечним протикорозійним захистом. *Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів*, 13, 188-192. https://ipm.lviv.ua/corrosion2020/Chapter_02/XIV_188_TSYBULIA.pdf
4. Борисенко Ю.В. Матеріали сучасної техніки та захист від руйнування: навчальний посібник. К.: КНУТД, 2016. 111 с. https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/2223/3/20161004_Borisenko_NP.pdf
5. Белопольський М. Г., Корольов П. В. (2017) Управління ризиками корозійної небезпеки як чинник сталого розвитку промислових підприємств. *Економічний вісник Донбасу*, 2(48), 168-176. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecvud_2017_2_23
6. Дзядикович Ю.В., Попович П.В., Вітровий А.О., Розум Р.І., Чорна О.В., Захарчук О.П., Галиш Н.А., Цідило З.М., Шок К.П. Сумісність компонентів матеріалів у цивільній інженерії. *Центральнокраїнський науковий вісник. Технічні*

науки. - 2023. - Вип. 8(2). - С. 91-97. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.91-97](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.91-97)

7. Буряк М.В., Розум Р.І., Захарчук О.П., Попович П.В., Прогній П.Б., Чорний Л.Н. Вплив агресивних середовищ на експлуатаційні характеристики матеріалів несучих конструкцій колісних транспортних засобів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* - 2023. - Вип. 7(38). - С. 143-150. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.143-150](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.143-150)

8. William D. Callister Jr., David G. Rethwisch. Callister's Materials Science and Engineering. Wiley; 10th edition, 2018. 975 p. <https://surl.li/osyhyv>

9. Adrian P. Sutton FRS. Concepts of Materials Science. OUP Oxford, 2021. 160 p. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9780192661586_A42058229/preview-9780192661586_A42058229.pdf

10. Gale, W. F., and T. C. Totemeier (Editors), Smithells Metals Reference Book, 8th edition, Elsevier ButterworthHeinemann, Oxford, 2004. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9780080480961_A23516914/preview-9780080480961_A23516914.pdf

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.11.2025	Received in revised form 15.11.2025
Прийнято 20.11.2025	Accepted 20.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

R. I. Rozum*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7812-8248>
Department transport and logistics
West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

A. O. Vitrovyi

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2885-3745>
Department transport and logistics
West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

M. Ya. Shpintal

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9864-7050>
Department computer science
West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

A. Ye. Buyak

Ph.D. in Economy, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3756-6687>
Department transport and logistics
West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

P. V. Popovich

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>
Department transport and logistics
West Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

*corresponding author, e-mail: rozoom_ruslan@ukr.net

The influence of the external environment of the strength and durability of building metal structures and load-bearing elements of construction equipment.

How to Cite:

Rozum, R. I., Vitrovyi, A. O., Shpintal, M. Ya., Buyak, A. Ye., Popovych P. V. (2025). The influence of the external environment and the strength and durability of building metal structures and load-bearing elements of construction equipment. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 358-366. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-30](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-30)

Abstract. The article considers the influence of corrosive and aggressive factors of the external environment, namely different types of soils, on the strength and durability of building metal structures and load-bearing metal elements of construction equipment. It is noted that the complex action of temperature fluctuations, humidity, chemically active components and dynamic loads causes a gradual decrease in the strength of metals, which results in the development of corrosion fatigue cracks. The patterns of the corrosion rate under the condition of contact of metal elements with different types of soils, differing in composition, structure, humidity and degree of aeration, were studied. In the process of research, a complex of experimental methods was used, which include: gravimetric, potentiometric and microscopic analysis, which allowed to assess the corrosion rate, electrochemical activity of the environment, as well as the nature of damage to metal samples. Based on the results obtained, a classification of soil types was carried out according to the level of their corrosion activity, which made it possible to establish the most aggressive types (swamp, peat, silt and clay soils), as well as soils with minimal corrosion impact (sandy and limestone). The results obtained indicate that the correct and timely assessment of the value of the corrosion activity of soils is one of the main factors determining the durability of construction metal structures and metal elements of construction equipment. Establishing the level of aggressiveness of the soil environment allows not only to predict the rate of corrosion processes, but also to make a reasonable choice of structural materials, methods of their protection and types of coating, which will ensure long-term resistance to the influence of the external environment. Thus, the use of a systematic approach to assessing the corrosion activity of soils is an important element of engineering design and technical maintenance of construction sites and construction equipment. Which, in turn, ensures increased reliability, reduced risks of emergencies, and a long-term extension of the safe operation of building metal structures and construction equipment.

Keywords: building metal structures, construction equipment, metal corrosion, soil corrosion, soil corrosion activity, strength, durability.

УДК 72.04

Рубан-Головчук З.М.*

Ст. викл., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9396-3460>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національно-технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Рубан М.З.

Асистент

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національно-технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: zorianaruban2015@gmail.com

Камінь, бронза і бетон: матеріали, що об'єднують архітектуру і скульптуру

Цитувати як:

Рубан-Головчук, З.М., Рубан, М.З. (2025). Камінь, бронза і бетон: матеріали, що об'єднують архітектуру і скульптуру. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 367-374.
[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-31](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-31)

© 2025, Рубан-Головчук З.М., Рубан М.З.

У даному дослідженні проведено порівняння архітектури та скульптури з точки зору матеріалів, які були визначені, а саме камінь, бронза і бетон. Вони існують не лише як конструкції, але й як мистецтво, і повністю охоплюють всі вимоги у сфері будівництва та художньої діяльності. Таким чином, була проведена оцінка практичних способів використання цих матеріалів у громадських та міських умовах, їх фізичні, механічні та естетичні характеристики, а також технології обробки. Кожен матеріал має свою роль: камінь домінує в стабільності та величі, бронза у деталізації і пластичності, бетон - великомасштабна свобода формування та можливості архітектурних і скульптурних поєднань. У дослідженні стверджується про такі методи роботи, як аналіз композитних матеріалів, аналіз форми та складу, візуальна оцінка, тобто фактичне використання на різних рівнях науково-технічного процесу і в розвитку мистецтва. Було досліджено інновації в межах поєднання мистецтва та архітектури, зокрема, міські інсталяції, меморіальні комплекси та фасадну рельєфність, скориставшись єдиною естетичною та технічно обґрунтованою системою простору. Матеріали, що поєднують архітектуру і скульптуру, розглядаються не лише як технічні ресурси, а як носії культурної пам'яті та ідентичності, здатні трансформувати простір і формувати нові підходи до його художнього осмислення.

Ключові слова: архітектура, скульптура, матеріал, камінь, бронза, бетон, простір, форма, естетика.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. У сучасному просторі архітектури спостерігається зростання інтересу до

міждисциплінарних методів, особливо щодо взаємодії архітектурних конструкцій і скульптурних об'єктів. Останні відкриття у сфері пізнання урбаністики та художньої практики показують що камінь, бронза і бетон розглядаються не лише як технологічні засоби але також як носії образів естетики та культурних значень. У своїх роботах сучасні дослідники роблять акцент на тому, що вибір матеріалу може змінити простір; визначити його символічний вигляд, вплинути на емоційне сприйняття і задати тривалість архітектурної та скульптурної форми. Вибір матеріалу має силу робити все це.

Не дивлячись на широкий аналіз архітектурної теорії та скульптурного ліплення, проблема порівняння матеріалів у двох видах мистецтва залишається недостатньо освітленою. Більшість існуючих досліджень сьогодні розглядають матеріали або під кутом технічних характеристик, або як складову художнього вираження, що призводить до неповної наукової картини. Проблема полягає у відсутності ґрунтовного дослідження того, як одні й ті ж матеріали - бронза та бетон одночасно складають конструктивну логіку архітектури і формують художню силу скульптури. Те яким чином ці ролі перетинаються у сучасному просторі міста і є однією з можливостей для них.

Таким чином, з'являється необхідність в різнобічному аналізі матеріалів, які історично є основою для архітектури та скульптури, але сьогодні отримують нові технічні та художні значення, що визначають їх функцію у створенні відчуття просторової організації величини текстурних характеристик і краси.

Мета і завдання дослідження. Основною метою цього дослідження є всебічне порівняння каменю, бронзи та бетону в архітектурі та скульптурі, з акцентом на їх конструктивні, естетичні та просторові функції. Щоб досягти цієї мети, ми визначили кілька завдань: проаналізувати сучасні джерела, що стосуються властивостей і використання каменю, бронзи та бетону в архітектурно-скульптурній практиці; виявити ключові технічні та художні характеристики кожного з цих матеріалів; порівняти їхню роль у формуванні просторової структури архітектурних об'єктів і пластичної виразності скульптур; оцінити, як матеріал впливає на сприйняття масштабу, фактури та естетичної цінності об'єкта; а також виокремити тенденції інтеграції архітектурних і скульптурних практик у сучасному міському середовищі.

Матеріали та методи

Дослідження проводилося ретельним, перехресним методом, який об'єднує техніки з архітектури, скульптури, матеріального аналізу та дослідження простору (4). Бетон був головним матеріалом, який впливав на дизайн і вигляд будівель та скульптур протягом історії. Існує безліч методів

для створення складних результатів порівняння матеріалу. Перш за все, полягає у тому, щоб перевірити і порівняти фізичні, механічні, хімічні, властивості таких речей, як камінь, бронза та бетон. Дивлячись на ці фактори, стає зрозуміло наскільки вони сильні, скільки вони тривають, наскільки гнучкі, як вони тримаються проти погоди, як може змінюватися розмір. Наступний крок, включає в себе морфологічний аналіз структури, це метод, який дозволяє нам визначити, як той самий матеріал сформував архітектурну структуру і скульптурну пластику. Просторово-композиційний аналіз допомагає нам зрозуміти, як матеріали граються світлом, тінями, розміром, і особливо уважно розглядається довкілля, в якому матеріали відіграють основну роль у будівництві та створенні художніх зображень та скульптурах. Його мета - переглянути матеріали в різних галузях, таких як міські ландшафти, природні пейзажі та змішані простори. Припускають, що сучасний дизайн схильний до мінімалізму, монолітних структур, текстурованих поверхонь, біоморфічних форм та природних елементів, існують деякі специфічні приклади сучасної архітектури світу і скульптури, які використовують камінь, бронзу та бетон, як засоби для створення простору та пластичної мови. Таким чином, можна побачити архітектурні об'єкти, меморіальні комплекси, міські установки, фактурні фасади та елементи благоустрою. Метод структурно-функціонального аналізу, допомагає дивитися на будівництво будівель, і побачити роль матеріалу: у будівлях це частина самої структури форми, яку розглядають використовуючи узагальнення та синтез. З цього можна зробити висновки про те, як матеріали впливають на змішування мистецтва з архітектурою і об'єднання цих двох галузей у міських ландшафтах.

Архітектура і скульптура показують два художні світи, які з минулих часів ведуть діалог між собою, формуючи наш фізичний простір. У центрі цього діалогу знаходиться матеріал, не лише як будівельний елемент, а й як носій змісту фактури, світлотіні та тривалості часу. Вибір матеріалу визначає не лише спосіб, як конструкція буде побудована чи образ створений, але також те, як його сприймуть люди: як зображення або як відчуття контексті розвитку матеріальних технологій від обробленого каменю до литого бетону і художньої бронзи, важливо зрозуміти їх двояку природу, як технічну, так і естетичну. Це і підкреслює значення. Метою цієї статті є порівняння трьох матеріалів каменю, бронзи та бетону, і виявлення їхньої ролі у створенні простору та краси, як в архітектурі, так і у скульптурі.

Щодо каменю то це стійкість і первинна форма. У архітектурному оточенні камінь є одним з найстаріших будівельних елементів який втілює надійність міцність і велич. У архітектурі камінь створює відчуття важкості і основи, що чітко видно в монолітних формах, а також у класичній і готичній архітектурі. Камінь відчуває свою величність, ритм будівництва або обробки та викликає просторове сприйняття кам'яної архітектури, розуміння архітектури, як вічності, відображення змін.

Фактура каменю, його масивність, ритм кладки чи обробки формують просторове сприйняття – кам'яну архітектуру часто сприймають як архітектуру «вічності»[5].

Розглядаючи скульптурний контекст, камінь постає як матеріал «виписування форми» з маси. Думка про «постать, визволену із каменю» (за образом праці майстра-скульптора) вказує на те, що камінь – матеріал, який чекає на форму. У цьому сенсі скульптура з каменю звернена до часу та матеріальності: поверхня, текстура, сліди інструменту стають частиною образу. Порівнюючи техніки, можна зробити висновки, що в архітектурі камінь часто використовувався для несучих стін, фундаментів, фасадів – тобто роль матеріалу переважно функціональна. У скульптурі він набуває роль образотворчої субстанції – матеріал стає виразом руху, образу, символу. Фактура каменю в будівлі (наприклад ритм кладки, оброблена чи необроблена поверхня) має схожі естетичні властивості, що і поверхня скульптури – ритм, тінь, текстура.

У сучасних практиках камінь повертається в міський простір через тенденцію до природності й сталості [7]. У фасадах використовують комбінування великих монолітів і тонких плит для створення контрасту масштабу. Скульптори займаються шліфуванням і поєднанням процесів де гладка поверхня з'єднується з текстурною яка створює багатшаровий візуальний ефект. Їхня робота є складним процесом, де прості та грубі елементи поєднуються, щоб створити багатогранне сприйняття та унікальний фінальний результат.

Камінь одночасно є речовиною, яка дозволяє підкреслити важкість і тяжіння до землі, надаючи архітектурі та скульптурі відчуття монументальності. Її внутрішні якості визначають гру світла та тіні, що впливає на сприйняття просторових розташувань. Кам'яні скульптури та архітектурні елементи працюють, як єдині просторові творіння -це, коли пластичність форми переходить у логіку конфігурації та пов'язується з рештою простору.

Бронза має рухливість і змінність. Її архітектурно-декоративна роль пов'язана з тим, що протягом багатьох століть її використовували, як матеріал для декоративних елементів в архітектурі, портали, рельєфи, декоративні елементи фасадів, огорож. Яскравість та технічність може перетворити звичайні будівлі на прекрасні та художньо глибокі мистецькі об'єкти. Щодо скульптурності, бронза дає можливість передати найтонші риси анатомії, динаміки і руху. Металевий прототип дозволяє обробку подібну до ювелірної, що забезпечує високий рівень технічної точності та витривалості для нього. Порівнюючи дані техніки, можна зрозуміти, що у архітектурі бронза переважно виступає як обробка, вставка, акцент у просторі; її функція - доповнювати матеріал-основу та створювати художній акцент. У скульптурі вона є основним матеріалом формотворення, через який образ створюється та передається. З технічної сторони від лиття до

обробки, бронза має більшу свободу форми, ніж традиційний камінь; у той же час вона не несе основної конструкції споруди, але працює з образом і матеріальною присутністю в просторі.

Сучасні архітектори застосовують тонкі бронзові панелі та перфоровані екрани, що утворюють ефект напівпрозорості та «руху» поверхні під дією світла [4]. Такий підхід наближає архітектурну оболонку до скульптурної пластики – фасад починає функціонувати як великий художній рельєф.

Порівняльний аналіз засвідчує, що бронза створює відчуття динаміки, деталізації та часу, на відміну від статичної масивності каменю. Вона додає середовищу відтінку історичності та шляхетності, при цьому залишається актуальною для мінімалістичних і високотехнологічних композицій.

Бетон: матеріал XX-XXI століть. Бетон - матеріал, що радикально змінив архітектуру: від каркасних систем до масивних оболонок і формоутворюючих структур. У даному дослідженні метод використання у сучасній архітектурі бетону розглядається не тільки, як матеріал для підтримки, але і як естетична речовина, що має здатність створювати величні простори та гнучкі форми. Для прикладу, сучасні трактати підкреслюють, що бетон здатний діяти, як рідкий камінь, це, ніби, скульптурна архітектура. У скульптурному дизайні бетон також все більше використовується через його гнучкість, можливість створення складних форм, а також технологічні доповнення, такі як волокна і армування. Він перетворюється на матеріал естетичного висловлення для глядача. Для прикладу, дослідження показують використання цементу з добавками волокон для скульптурних елементів які мають високу міцність.

Порівняння технік: в архітектурі бетон часто виступає як «носіє форми» - оболонка, оболонковий простір, моноліт, а у скульптурі він виступає як матеріал, що дозволяє перейти від традиційної маси до вільної форми - зміна масштабу, технології лиття, фактура. Є спільна риса, яка також існує в обох ситуаціях: бетон змінює розуміння структурного дизайну і візуального представлення, таким чином перетворюючись на матеріал який зв'язує технічні застосування і художні пластичні мистецтва, що є важливим акцентом для їх підкреслення. Використання бетону змінює концепцію і стає зв'язуючою матерією між будівлею і мистецтвом.

У сучасній архітектурі такий матеріал як бетон, активно використовується в жорсткому мінімалізмі та параметричній архітектурі. Саме такі просторові рішення на основі цільного бетону часто нагадують об'ємну скульптуру, де вона стає не стільки формою, скільки гнучкою конструкцією що поєднується з ландшафтом і світлом.

Результати та обговорення

Було помічено, що останні п'ять років показали кілька головних тенденцій. По-перше, архітектура тепер виглядає як скульптура: будівлі вже

не лише інженерні споруди, а великі пластичні форми, наприклад сучасні музеї, меморіали, великі просторові комплекси. По-друге, скульптура в архітектурі часто додає мистецькі елементи в фасади, дахи, атріуми; скульптура використовує ті ж матеріали і створює єдиний стиль [5]. По-третє, важливий пошук нових текстур і комбінованих поверхонь: поєднання каменю і бетону, бронзи і каменю, полірування і патинування. Ми робимо контраст між «теплим» і «холодним» матеріалом. Дизайн, який довго служить і не шкодить природі: природний камінь і міцні метали беруть участь у будівлях з малим вуглецем; бетон змінюємо, щоб зменшити вуглець [6]. Публічний простір стає місцем, де збираються мистецтва: скульптурні стають частиною зовнішнього вигляду, а архітектурні частини несуть художнє значення.

Усі три матеріали - камінь, бронза й бетон - сьогодні формують поліфонічну мову сучасної архітектури та скульптури, де конструкція і мистецтво функціонують як рівноправні компоненти.

Висновки

Таким чином, підсумовуючи дане дослідження та підхід при виконанні роботи, можна зазначити, що камінь, формована бронза та бетон є унікальними, оскільки вони одночасно виражають у конструктивній стилістиці архітектури та художній виразності скульптури. Саме тому їх особливість полягає у тому, що вони мають дві сторони – технічні та естетичні якості, оскільки вони залучені для створення сучасних об'єктно-просторових середовищ, до створення яких вони є необхідними умовами. Основні висновки порівняльно-аналітичної частини по можливостям каменю пам'ятника – є монументальністю, стійкість, текстурою активною архітектурною і скульптурною практикою, бронзою за можливістю передачі ланцюжка деталізації, пластичний та акцентуючий. Світло і атмосферні текучості, бетон як матеріал має широкі можливості для зруйнування форм, інтеграції в масштаб і архітектурно-скульптурної форми. Вище сказане дозволяє вирахувати тенденції простору у сучасному дизайні для згладжування границь між архітектурою та мистецтвом.

Конфлікти інтересів

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Fedorishyn A., Rybchynskiy O. (2024). Issues of restoration of sculptures made of Roman cement in the architecture of Lviv in the second half of the 19th – early 20th century. *Fortifications Journal*, 107-117
2. Kupranets R. (2023). Features of using Roman cement and high-quality concrete for restoration and creation of sculptures on the facades of historical buildings. *Scientific Article*, 106-116.
3. Bezv M., Hutsuliak R., Strilenko Y. (2022). Methodical recommendations for the restoration of architectural monuments. *Methodical Guide on Conservation*, 436.
4. Kutsevych V.V. (2021). Theoretical and practical foundations of restoration. *Textbook.*, 224.
5. Hrebeniuk I. (2022). Sculpture in contemporary interior design. *Contemporary Problems of Architecture and Urban Planning*, No. 64, 31-40.
6. Zavorsin O.O. (2020). Architectural environment design. *Textbook*, 356.
7. Vladyka S.V. (2024). Architectural and planning revitalization of the recreational and tourist space of the historical and cultural reserve “Tustan”. *Master’s Thesis, Explanatory Note*, 80.
8. Mykhailova R. D., Kysil S. S. (2019). On the figurative and semantic dominants of the Landscape Alley in Kyiv. *Art and Design (Kyiv National University of Technologies and Design)*, 97-105.

Література

1. Федоришин А., Рибчинський О. (2024). Проблеми реставрації скульптур з романського цементу в архітектурі Львова другої половини XIX – початку XX ст. *Фортифікації*, випуск 20 (2024). С.107-117.
2. Купранець Р. (2025). Особливості використання романсенту та високоякісного бетону для реставрації та створення скульптур на фасадах історичних будівель. *Наукова стаття*, випуск 22 (2025). С.106-116.
3. Бевз М., Гуцуляк Р., Стріленко Ю. (2021). Методичні рекомендації з реставрації пам’яток архітектури. *Методичний посібник із консервації*. За ред. І. Прокопенко. -Київ: Саміт-книга, 2021. 436 с.
4. Куцевич В.В. (2021). Теоретичні та практичні основи реставрації. *Підручник*. 224 с.
5. Гребенюк І. (2022). Скульптура у сучасному інтер’єрі. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, № 64 (2022). С. 31-40.
6. Заварзін О.О. (2020). Дизайн архітектурного середовища. *Навчальний посібник*. 356 с.
7. Владика С.В. (2024). Архітектурно-планувальна ревіталізація рекреаційно-туристичного простору історико-культурного заповідника «Тустан». *Магістерська робота, пояснювальна записка*. 80 с.
8. Михайлова Р.Д., Кисіль С.С. (2019). Про образно-змістові домінанти Пейзажної алеї в Києві. *Art and Design (Київський національний університет технологій та дизайну)*. С. 97-105.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 16.11.2025	Received 16.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 21.11.2025	Received in revised form 21.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Ruban-Holovchuk Z.M. *

Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9396-3460>

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska Str., Lutsk, Ukraine, 43018

Ruban M.Z.

Assistant,

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska Str., Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: zorianaruban2015@gmail.com

Stone, Bronze and Concrete: Materials that Unite Architecture and Sculpture

Cite as:

Ruban-Holovchuk Z. M., Ruban M. Z. (2025). Stone, bronze, and concrete: materials that unite architecture and sculpture. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*, 24, 367-374. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-31](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-31)

© 2025, Ruban-Holovchuk Z. M., Ruban M. Z.

Abstract. This article examines the interrelation between architecture and sculpture through the lens of materials: stone, bronze, and concrete, which serve as universal carriers of both structural and artistic properties. A comprehensive analysis of contemporary practices in the use of these materials in public and urban environments is presented, taking into account their physical, mechanical, and aesthetic characteristics, as well as processing technologies and methods of form-making. It has been established that each material plays a specific role: stone provides massiveness, stability, and monumentality; bronze offers detail, plasticity, and dynamic expression; concrete enables scale, form-making freedom, and integration of architectural and sculptural components. The study employs interdisciplinary methods, including comparative materials analysis, morphological and spatial-compositional evaluation, visual-aesthetic assessment, and case studies of contemporary objects. Current trends in integrating art and architecture are explored, particularly in urban installations, memorial complexes, and façade plasticity, which contribute to forming a cohesive system that is both aesthetically and structurally justified. The results emphasize the importance of an interdisciplinary approach to material selection and application, as materials simultaneously determine structural parameters and the artistic perception of space. The findings may be valuable for architects, designers, restorers, sculptors, and urban space researchers seeking to harmonize technology and artistic expression in contemporary projects.

Materials that unite architecture and sculpture are interpreted not only as technical resources but also as carriers of cultural memory and identity, capable of transforming space and generating new approaches to its artistic interpretation.

Keywords: architecture, sculpture, material, stone, bronze, concrete, space, form, aesthetics.

УДК 691.175

М. В. Русецька*

аспірантка, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7168-7552>

Кафедра будівництва

Київський національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв
Оборони, 15, Київ, Україна, 03041

Є. А. Бакулін

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-5384>

Кафедра будівництва

Київський національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв
Оборони, 15, Київ, Україна, 03041

*автор-кореспондент, e-mail: m.rusetska@nubip.edu.ua

Експериментально-модельюче дослідження процесів вологоперенесення у сендвіч-панелях із базальтовим утеплювачем у помірному кліматі України

Цитувати як:

Русецька М. В., Бакулін Є. А. (2025). Експериментально-модельюче дослідження процесів
вологоперенесення у сендвіч-панелях із базальтовим утеплювачем у помірному кліматі
України. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 375-383.
[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-32](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-32)

© 2025, Русецька М. В., Бакулін Є. А.

*Забезпечення довговічності та енергоефективності огорожувальних
конструкцій є одним із головних завдань сучасного будівництва. Сучасні вимоги до
енергоефективності будівель зумовлюють необхідність застосування
теплоізоляційних матеріалів із стабільними характеристиками протягом усього
періоду експлуатації [1,2]. Одним із найпоширеніших матеріалів для зовнішніх
огорожувальних конструкцій є мінеральна вата на основі базальтових волокон,
яка поєднує низьку теплопровідність, негорючість та екологічну безпечність [3,4].
Одним із факторів, що впливає на втрату теплоізоляційних властивостей, є
накопичення вологи та конденсоутворення у товщі панелі. Базальтовий
утеплювач, маючи високий рівень паропроникності, може ефективно працювати
лише за умови можливості видалення вологи [5,6].*

*Проте численні дослідження показують, що під впливом вологи та
температурних коливань відбувається суттєва зміна теплотехнічних і механічних
властивостей волокнистих утеплювачів. У процесі експлуатації матеріали
накопичують вологу внаслідок конденсації та утворення ілею, що знижує їхню
ефективність, викликає деформації та прискорює деградацію структури. Тому
актуальним є пошук раціональної конструкції панелей, яка б забезпечувала
ефективне видалення вологи без зниження теплоізоляційних характеристик.*

*У роботі досліджено вплив конструктивних особливостей сендвіч-панелей
із базальтовим утеплювачем на інтенсивність вологоперенесення та процеси
висихання за умов помірного клімату України. Моделювання проведено для трьох*

типів панелей із різною будовою внутрішніх шарів: без вентиляційного шару, з мікровентильційними каналами та з дренажним шаром. За допомогою числового експерименту отримано залежності вологовмісту від часу, виконано порівняльний аналіз та розрахунок інтегрального показника (AUC). Встановлено, що наявність вентиляційних і дренажних елементів суттєво прискорює процес видалення вологи, підвищуючи експлуатаційну довговічність панелей.

Ключові слова: сендвіч-панель, базальтовий утеплювач, вологоперенесення, конденсат, моделювання, теплозахист.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Як показує будівельна практика, температура, відносна вологість та процеси утворення інею істотно впливають на теплотехнічні та механічні властивості ізоляційних матеріалів, що застосовуються у дахових системах, фасадах і фундаментах [7]. Накопичення вологи у волокнистих структурах призводить до зростання теплопровідності, втрати пружності та поступової деградації матеріалу, що, у свою чергу, знижує довговічність огорожувальних елементів будівлі.

Дослідження Vrána та Björk [7] показали, що в ізоляційних матеріалах з меншою щільністю відбувається підвищення вологості у 2,5–3 рази порівняно з очікуваними значеннями. Це підтверджує важливу роль щільності та мікроструктури матеріалу у формуванні його вологостійкості. У подальших дослідженнях Vrána і Gudmundsson [8] було проведено порівняння целюлозних і кам'яноволоконних утеплювачів у контексті процесів конденсації та утворення інею. Автори виявили, що зміни проникності водяної пари у різних типах волокнистих матеріалів є незначними, однак загальна тенденція до накопичення вологи при зміні температури залишається вираженою.

Особливу увагу приділено теплотехнічній стабільності мінераловатних матеріалів. За результатами експериментів Jerman та ін. [9], теплопровідність мінеральної вати різко зростає із підвищенням вологості — від 0,041 Вт/(м·К) у сухому стані до 0,900 Вт/(м·К) при насиченні водою. Це свідчить, що навіть незначне зволоження може істотно погіршити енергоефективність конструкції.

Не менш важливим є вплив вологи на механічну міцність утеплювачів. Ivanič та співавт. [10] встановили, що у зразках мінеральної вати з базальтових волокон, вилучених із зволжених ділянок покрівель, міцність на стиск знижувалась на 93 % порівняно з номінальним значенням. Підвищена вологість та температурні коливання, які влітку можуть сягати 70 °С на поверхні даху, сприяють руйнуванню міжволоконних зв'язків і прискоренню деградаційних процесів у структурі матеріалу.

Узагальнюючи результати попередніх досліджень, можна зазначити, що вплив вологості на теплові та механічні характеристики

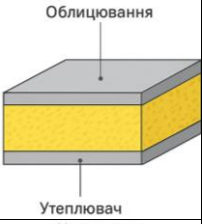
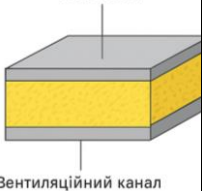
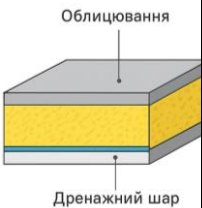
мінераловатних утеплювачів, особливо виготовлених на основі базальтових волокон, має комплексний характер.

Мета і завдання дослідження. Метою даного етапу дослідження є вивчення особливостей процесів накопичення та видалення вологи в тришарових сендвіч-панелях із базальтовим утеплювачем при впливі змінних кліматичних умов, характерних для помірного клімату України.

Матеріали та методи

У цьому дослідженні розглянуто три конструктивні варіанти сендвіч-панелей із базальтовим утеплювачем.

Таблиця 1. Зразки сендвіч-панелей

Позначення зразка	Конструктивна схема панелі	Характеристика	Конструктивні розрізи
Зразок 1	Стандартна панель без вентиляційного шару	Базовий тип, що використовується у більшості стінових систем	
Зразок 2	Панель з мікровентиляційними каналами	Модифікована конструкція, що дозволяє циркуляцію повітря вздовж утеплювача	
Зразок 3	Панель із дренажним шаром і паропроникним внутрішнім облицюванням	Рациональна конструкція, що забезпечує виведення вологи через дренаж і паропроникність внутрішнього шару	

Облицювальні шари — тонколистовий оцинкований метал товщиною 0,6 мм; утеплювач — базальтова мінеральна вата щільністю 100 кг/м³; загальна товщина панелі — 100 мм (Таблиця 1).

Для оцінки впливу конструктивних рішень на процеси вологоперенесення в тришарових сендвіч-панелях із базальтовим утеплювачем було проведено числове (моделююче) експериментальне дослідження. Моделювання виконано з використанням чисельного

експерименту протягом 24-годинного добового циклу, який репрезентує умови помірного клімату України (зовнішня температура від -10 до $+25$ °C, відносна вологість 40–95 %). Експериментальне моделювання виконано у Python середовищі із врахуванням рівнянь Фур'є та Фіка для теплового й вологісного перенесення, сформовано модель, яка дозволяє розраховувати зміну середнього вологовмісту утеплювача $W(t)$ (%) від маси сухої речовини) у часі. Всі результати оброблено статистично (метод ANOVA, $\alpha = 0,05$).

Результати та обговорення

Результати симуляцій свідчать про важливий вплив конструктивних рішень на процес вологоперенесення. Початкові та кінцеві значення вологовмісту, а також інші показники наведено в Таблиці 2. Так, у панелі типу 1 W_{final} становив 2,8 %, у типу 2 — 2,1 %, у типу 3 — 1,7 %. Інтегральний показник AUC зменшувався від 52,4 %-год (тип 1) до 28,5 %-год (тип 3), що вказує на майже 45 % покращення при оптимізованій конструкції.

Таблиця 2. Основні результати моделювання процесу вологоперенесення

Параметр	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Початковий вологовміст W_0 , %	4,2	4,3	4,1
Кінцевий вологовміст W_{final} , %	2,8	2,1	1,7
Час напіввисихання t_{50} , год	8,5	6,2	4,7
Час повного видалення вологи ToW , год	19,3	15,1	11,8
Інтегральний показник (AUC)	52,4	39,7	28,5

Аналіз ANOVA дав $F=11,50$, $p=0,0089$, що підтверджує статистично значущу різницю між групами. Подальші парні тести показали, що тип 3 суттєво кращий від типу 1 ($p<0,05$).

Для панелей із замкненим контуром (Зразок 1) накопичення вологи відбувається у внутрішніх шарах, процес видалення вологи є уповільненим через відсутність паропроникності та повітрообміну. Панель із мікровентиляційними каналами (Зразок 2) створює умови для часткового повітрообміну, що прискорює видалення вологи приблизно на 20–25 %. порівняно зі стандартною. Панель з дренажним шаром (Зразок 3) дозволяє створити керований шлях виведення конденсату та зменшити час повного висихання на понад 35%, тому має найменший залишковий вологовміст та найшвидше видалення вологи.

Найефективніше видалення вологи відбувається у панелях із дренажним шаром і паропроникним внутрішнім облицюванням, де час повного висихання зменшується на 35–40 % (Рис.1).

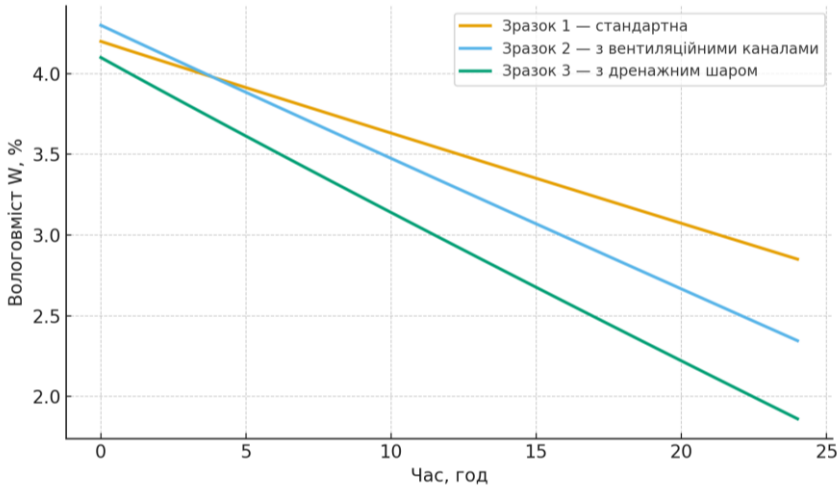


Рис.1. Динаміка зміни вологовмісту у трьох типах панелей

На основі отриманих даних встановлено, що інтегральний показник AUC зменшується у 1,8 раза для оптимізованої конструкції порівняно з базовою (Рис.2).

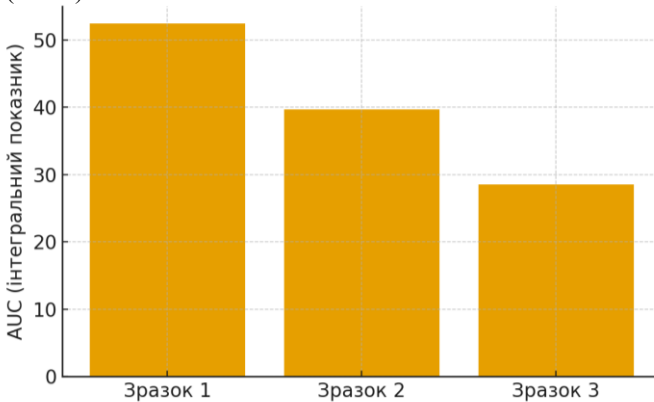


Рис.2. Порівняння інтегрального показника вологоперенесення (AUC)

Таким чином, дренажна конструкція є найбільш раціональним рішенням серед досліджених варіантів.

Отримані дані узгоджуються з результатами літератури. Наприклад, К. Kalbe та співавт. (2020) досліджували панелі зі сталевими обшивками і мінеральною ватою і виявили, що здатність до висихання обмежена, а застосування паропроникної стрічки може зменшувати «Time of Wetness» з

~5500 год/рік до ~2000 год/рік [11].

Так само дослідження Т. Vrána (2007) показали, що підвищена вологість суттєво погіршує довгострокові характеристики панелей із мінеральною ватою [12].

У нашій моделі прискорене видалення вологи у типі 3 пояснюється двома механізмами: наявністю дренажного шару, що забезпечує шлях для рідкої фази, та внутрішньою паропроникною облицюванням, що зменшує опір дифузії пари. Це знижує накопичення вологи, скорочує ToW і зменшує ризик корозії та зниження теплоізоляційної ефективності.

Однак слід зазначити обмеження: модель одновимірна, не враховує вплив країв і стиків панелей, реальні параметри коефіцієнта дифузії могли варіюватися (а не були вимірянні), а симуляція охоплює лише добовий цикл. В реальних умовах накопичення вологи може відбуватися протягом тривалого часу. У майбутньому доцільно провести лабораторні випробування для валідації моделі.

Висновки

Розроблена методика моделюючого експерименту дозволила кількісно оцінити динаміку вологоперенесення у сендвіч-панелях з базальтовим утеплювачем. Процес вологоперенесення в базальтовому утеплювачі підпорядковується закономірностям дифузійного перенесення, але значно залежить від умов конденсації утворення на межах шарів. Результати підтверджують доцільність використання комбінованих схем повітряно-дренажного відведення вологи при проектуванні сучасних сендвіч-панелей для умов помірного клімату України.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Yakovenko, I. A., & Bakulin, Y. A. (2023). Directions of scientific research at the Department of Construction of NULES of Ukraine. In *Proceedings of the 10th International Scientific and Technical Conference "Kramarov Readings" dedicated to the 116th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of VASKhNIL, Vice President of UASN V. S. Kramarov (1906–1987) and the 125th anniversary of NULES of Ukraine* (Kyiv, February 24–25, 2023, pp. 488–491). Kyiv: NULES of Ukraine.
2. Rusetska, M. V., & Bakulin, Y. A. (2024). Basalt insulation: A natural "green material" for modern constructions. *Modern Technologies and Calculation Methods in Construction*, (22), 5–15. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-01)
3. Bakulin, Y. A., & Rusetska, M. V. (2024). Innovation, efficiency, and sustainability of sandwich wall panels with basalt insulation. In *Proceedings of the 23rd International Conference of Scientific and Pedagogical Staff, Researchers, and Postgraduates "Problems and Prospects for the Development of Technical and Bioenergy Systems of Nature Management, Design and Engineering"* (Kyiv, April 11–12, 2024, pp. 78–80). Kyiv: NULES of Ukraine.
4. Bakulin, Y. A. (2013). Deformations as indicators of hazards and risks of damage in operated buildings. *Construction of Ukraine*, (5), 2–5.
5. Bakulin Y.A. Engineering protection and prepatation of territories : study guide; under the editorship of cand tech. science Ye.A. Bakulin / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina. – Kyiv : NULES of Ukraine, 2022. – 205 p.
6. Yakovenko I., Bakulin Y. & Bakulina V. (2020) Classification methods of civil buildings reconstruction // Theoretical and scientific foundations of engineering : collective monograph / Apostolova R., Shembel E., Aurbach D., Markovsky B., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2020. 180 p., pp. 70–96. <https://doi.org/10.46299/issg.2020.MONO.TECH.II>
7. Vrána, T., & Björk, F. (2009). Frost formation and condensation in stone–wool insulations. *Construction and Building Materials*, 23, 1775–1787. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.027>
8. Vrána, T., & Gudmundsson, K. (2010). Comparison of fibrous insulations – Cellulose and stone wool in terms of moisture properties resulting from condensation and ice formation. *Construction and Building Materials*, 24, 1151–1157. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.020>
9. Jerman, M., & Černý, R. (2012). Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energy and Buildings*, 53, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.004>
10. Ivanič, A., Kravanja, G., Kidess, W., Rudolf, R., & Lubej, S. (2020). The influences of moisture on the mechanical, morphological and thermogravimetric properties of mineral wool made from basalt glass fibers. *Materials*, 13, 2392. <https://doi.org/10.3390/ma13102392>
11. Kalbe, K.; Piikov, H.; Kalamees, T. Moisture Dry-Out Capability of Steel-Faced Mineral Wool Insulated Sandwich Panels. *Sustainability* 2020, 12, 9020. <https://doi.org/10.3390/su12219020>
12. Vrána T. Impact of moisture on long term performance of insulating products based on stone wool : дис. ... д-ра філос. (PhD) / Technical University in Brno. Brno, 2007.

Література

1. Яковенко І.А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України / І.А. Яковенко, Є.А. Бакулін // 36. тез доп. X Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) та 125 річниці НУБіП України (24–25 лютого 2023 р., м. Київ). – К. : НУБіП України, 2023. – С. 488–491.
2. Русецька М.В. Базальтовий утеплювач – природний «зелений матеріал» для сучасних конструкцій / М.В. Русецька, Є.А. Бакулін // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2024. – № 22. – С. 5–15. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-01)
3. Бакулін Є.А. Інноваційність, ефективність, сталість стінових сендвіч-панелей з базальтовим утеплювачем / Є.А. Бакулін, М.В. Русецька // 36. тез доп. XXIII Міжн. конф. наук.-педаг. працівників, наук. співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування конструювання та дизайн» (11–12 квітня 2024 р.), – К. : НУБіП України, 2024.– С. 78–80.
4. Бакулін Є.А. Деформації як індикатори небезпек та ризику руйнування експлуатованих будівель / Є.А. Бакулін // Будівництво України. –2013. – №5. – С. 2– 5.
5. Bakulin, Y. A., Yakovenko, I. A., & Bakulina, V. M. (2022). *Engineering protection and preparation of territories: Study guide* (Ye. A. Bakulin, Ed.). Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 205 p.
6. Yakovenko, I., Bakulin, Y., & Bakulina, V. (2020). Classification methods of civil buildings reconstruction. In R. Apostolova, E. Shembel, D. Aurbach, B. Markovsky et al. (Eds.), *Theoretical and scientific foundations of engineering: Collective monograph* (pp. 70–96). Boston: Primedia eLaunch. <https://doi.org/10.46299/isg.2020.MONO.TECH.II>
7. Vrána, T., & Björk, F. (2009). Frost formation and condensation in stone–wool insulations. *Construction and Building Materials*, 23, 1775–1787. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.027>
8. Vrána, T., & Gudmundsson, K. (2010). Comparison of fibrous insulations – Cellulose and stone wool in terms of moisture properties resulting from condensation and ice formation. *Construction and Building Materials*, 24, 1151–1157. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.020>
9. Jerman, M., & Černý, R. (2012). Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energy and Buildings*, 53, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.004>
10. Ivanič, A., Kravanja, G., Kidess, W., Rudolf, R., & Lubej, S. (2020). The influences of moisture on the mechanical, morphological and thermogravimetric properties of mineral wool made from basalt glass fibers. *Materials*, 13, 2392. <https://doi.org/10.3390/ma13102392>
11. Kalbe, K.; Piikov, H.; Kalamees, T. Moisture Dry-Out Capability of Steel-Faced Mineral Wool Insulated Sandwich Panels. *Sustainability* 2020, 12, 9020. <https://doi.org/10.3390/su12219020>
12. Vrána T. Impact of moisture on long term performance of insulating products based on stone wool : дис. ... д-ра філос. (PhD) / Technical University in Brno. Brno, 2007.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 14.11.2025	Received in revised form 14.11.2025
Прийнято 20.11.2025	Accepted 20.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

M. V. Rusetska*

PhD Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7168-7552>

Department of Construction

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

Ye. A. Bakulin

PhD (Tech. Sci.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-5384>

Department of Construction

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

*corresponding author, e-mail: m.rusetska@nubip.edu.ua

Experimental and modeling study of moisture transfer processes in sandwich panels with basalt insulation under moderate climate conditions of Ukraine

How to Cite:

Rusetska, M. V., & Bakulin, Ye. A. (2025). Experimental and Modeling Study of Moisture Transfer Processes in Sandwich Panels with Basalt Insulation under Moderate Climate Conditions of Ukraine. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 375-383. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-32](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-32)

Abstract. Ensuring the durability and energy efficiency of building envelope structures is one of the key tasks of modern construction. Current requirements for the energy performance of buildings necessitate the use of thermal insulation materials with stable characteristics throughout their service life [1,2]. One of the most common materials used for external envelope structures is mineral wool based on basalt fibers, which combines low thermal conductivity, non-combustibility, and environmental safety [3,4]. One of the factors influencing the loss of thermal insulation properties is the accumulation of moisture and condensation within the panel thickness. Basalt insulation, having a high level of vapor permeability, can perform effectively only when adequate moisture removal is ensured [5,6].

However, numerous studies indicate that under the influence of moisture and temperature fluctuations, significant changes occur in the thermal and mechanical properties of fibrous insulations. During operation, these materials accumulate moisture due to condensation and frost formation, which reduces their efficiency, causes deformations, and accelerates structural degradation. Therefore, the search for a rational panel design that ensures effective moisture removal without reducing thermal insulation performance remains an urgent task.

This paper investigates the influence of the structural features of sandwich panels with basalt insulation on the intensity of moisture transfer and drying processes under the conditions of Ukraine's temperate climate. Modeling was performed for three types of panels with different internal layer configurations: without a ventilation layer, with micro-ventilation channels, and with a drainage layer. Using numerical simulation, the dependence of moisture content on time was obtained, followed by a comparative analysis and calculation of the integral indicator (AUC). It was established that the presence of ventilation and drainage elements significantly accelerates the process of moisture removal, thereby increasing the operational durability of the panels.

Keywords: sandwich panel, basalt insulation, moisture transfer, condensation, modeling, thermal protection.

УДК 349.6

Н.В. Рябих*

К.ю.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4177-698X>

Кафедра права

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: n.riabih@lntu.edu.ua,

Правові механізми інтеграції українського містобудівного законодавства до *acquis communautaire* ЄС: проблеми та пріоритети гармонізації

Цитувати як:

Рябих, Н.В. (2025) Правові механізми інтеграції українського містобудівного законодавства до *acquis communautaire* ЄС: проблеми та пріоритети гармонізації. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 384-397. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-33](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-33)

© 2025, Рябих Н.В.

*Дана стаття здійснює детальний аналіз юридичних інструментів та механізмів, котрі є запорукою успішної інтеграції вітчизняного містобудівного законодавства в систему «*acquis communautaire*» Європейського Союзу. Дослідження базується на ретельному порівнянні положень Закону України № 3038-VI «Про регулювання містобудівної діяльності» (від 17.02.2011 р., з подальшими змінами) з ключовими регуляторними актами ЄС, а саме: Директивою 2011/92/ЄС «Про оцінку впливу певних публічних і приватних проектів на навколишнє середовище», Директивою 2001/42/ЄС «Про оцінку впливу окремих планів та програм на навколишнє середовище, а також Регламентом (ЄС) № 1082/2006, що стосується європейського угруповання територіального співробітництва (ЄУТС).*

У ході роботи виявлено суттєві недоліки та розбіжності, які перешкоджають гармонізації. Зокрема, існують труднощі з впровадженням цілісного підходу до просторового планування, оскільки чинні нормативно-правові акти, попри певні позитивні зрушення (як-от стаття 17 ЗУ № 3038-VI, що регулює генеральні плани), не забезпечують належної координації між різнорівневими планувальними документами. Виявлено недостатню інтеграцію процедур оцінки впливу на довкілля (ОВД) та стратегічної екологічної оцінки (СЕО), що проявляється у фрагментарності їхнього застосування та відсутності уніфікованої методологічної основи, що суперечить вимогам Директив 2011/92/ЄС (для проектів) та 2001/42/ЄС (для планів і програм). Характерним прикладом невідповідності є відсутність чітких положень щодо врахування транскордонного впливу в українських процедурах ОВД. Обмежена цифровізація процесів містобудування, попри прогрес у створенні Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва, все ще не відповідає критеріям Директиви INSPIRE 2007/2/ЄС щодо інфраструктури просторової інформації в Європейському Співтоваристві,

особливо в частині інтероперабельності даних та їх відкритості. Проблематичним аспектом залишається також недостатній рівень залучення громадськості до прийняття рішень, оскільки існуючі механізми (наприклад, публічні слухання, передбачені статтею 21 ЗУ № 3038-VI) часто є формальними та не гарантують реального впливу на кінцевий результат.

Окрім того, розглянуто інституційні виклики, серед яких – низька ефективність координації між Міністерством розвитку громад, територій та інфраструктури України та Державною інспекцією архітектури та містобудування України з органами місцевого самоврядування у сфері просторового розвитку. Це призводить до розбіжностей у правозастосовній практиці та затягування погоджувальних процедур. У зв'язку з цим, запропоновано ключові напрями гармонізації: розробка уніфікованого комплексного законодавчого акту, який узагальнить та вдосконалив норми просторового планування та забудови, враховуючи принципи сталого розвитку ЄС. Необхідним є також посилення екологічних стандартів та повноцінна імплементація всіх положень Директив 2011/92/ЄС та 2001/42/ЄС, включно з розробкою детальних підзаконних актів та методичних рекомендацій. Надзвичайно важливим є впровадження повноцінних цифрових платформ для містобудівної документації та дозвільних процедур відповідно до принципів INSPIRE та "Єдиного вікна". Пропонується розширити обов'язкові форми громадської участі, включно з ранніми етапами планування та забезпеченням повного доступу до інформації, як це передбачено Орхуською конвенцією. Успішне здійснення цих пріоритетів, за умови створення ефективної системи моніторингу відповідності (наприклад, через щорічні звіти Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України), сприятиме стійкому територіальному розвитку, підвищенню інвестиційної привабливості України та забезпеченню високих екологічних стандартів у контексті повноцінної європейської інтеграції.

Ключові слова: містобудівне законодавство, європейська інтеграція, просторове планування, оцінка впливу на довкілля, стратегічна екологічна оцінка

Вступ

Україна, перебуваючи у статусі країни-кандидата на вступ до Європейського Союзу, несе зобов'язання здійснити масштабну адаптацію свого національного законодавства до *acquis communautaire* – сукупності правових норм, принципів та стандартів ЄС. Сфера містобудування є однією з критично важливих у цьому процесі, оскільки вона безпосередньо впливає на стійкий просторовий розвиток територій, забезпечення екологічної безпеки, поліпшення якості життя населення та стимулювання інвестиційної привабливості держави.

Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [1] є основним нормативним актом у цій галузі, проте він потребує суттєвої гармонізації з європейськими директивами та стандартами, зокрема, у частині просторового планування, екологічної оцінки та залучення громадськості. За експертними оцінками, приблизно 30% положень цього Закону [1] потребують адаптації для повної відповідності європейським нормам.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Актуальні наукові праці активно зосереджуються на проблематиці адаптації національних правових систем держав-кандидатів до європейських норм, зокрема, в контексті зближення з *acquis communautaire*. Визнані експерти приділяють особливу увагу екологічним аспектам сталого розвитку (зокрема, враховуючи Директиву щодо стратегічної екологічної оцінки) [3] та процесам уніфікації технічних регламентів у сфері містобудування. Попри значний обсяг публікацій, комплексний аналіз юридичних інструментів інтеграції українського містобудівного законодавства до *acquis communautaire* Європейського Союзу, що охоплював би не лише екологічні, а й соціальні, економічні та інституційні виміри, залишається недостатньо висвітленим. Зокрема, бракує поглибленого дослідження імплементації положень Директиви [2] стосовно оцінки впливу на довкілля (ОВД) та Директиви [6] (INSPIRE), що регулює питання просторових даних, у взаємозв'язку із Законом України №3038-VI «Про регулювання містобудівної діяльності» [1]. Ця обставина зумовлює нагальну необхідність подальших наукових розвідок для формування системних рекомендацій з гармонізації.

Мета і завдання дослідження

Метою цього дослідження є розробка цілісного науково-обґрунтованого підходу до гармонізації вітчизняного містобудівного законодавства, зокрема Закону України №3038-VI «Про регулювання містобудівної діяльності», з імперативами *acquis communautaire* Європейського Союзу, що передбачає виявлення ключових проблемних зон та окреслення пріоритетних напрямів для послідовної інтеграції.

Для досягнення окресленої мети визначено такі **завдання**:

- Здійснити системний порівняльно-правовий аналіз чинного українського містобудівного законодавства, приділяючи особливу увагу Закону України №3038-VI [1] (зокрема статей 16, 17, 21, 24, що стосуються містобудівної документації та її експертизи), та його відповідності ключовим директивам ЄС у сфері містобудування (наприклад, Директива про СЕО[3], Директива про ОВД[2], Директива INSPIRE[6]).

- Виявити конкретні прогалини, суперечності та невідповідності між національним і європейським законодавством, зокрема розбіжності у визначеннях терміну "просторове планування", недостатній рівень громадських консультацій відповідно до Орхуської конвенції [5] та Директиви [8], а також відсутність єдиної цифрової платформи для оприлюднення містобудівних даних, яка б відповідала вимогам INSPIRE [6].

- Розробити деталізовані пропозиції щодо внесення змін до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» [1] та відповідних підзаконних нормативно-правових актів (наприклад, до Постанови КМУ

№555 "Про порядок проведення громадських слухань" [9]), враховуючи найкращі європейські практики та конкретні положення директив Європейського Союзу.

- Визначити ефективні інституційні та процедурні механізми для впровадження європейських стандартів, включно з розширенням повноважень Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури, формуванням міжвідомчих робочих груп, запровадженням системи постійного моніторингу імплементації (наприклад, на базі ЄСІМ) та програм підвищення кваліфікації для фахівців органів місцевого самоврядування.

- Провести прогнозну оцінку потенційних соціально-економічних (наприклад, зростання інвестицій на 15-20% завдяки підвищенню прозорості) та екологічних (скорочення викидів на 10% у міському секторі) наслідків гармонізації, а також оцінити ризики та можливості для сталого розвитку територій України.

Матеріали та методи

Дослідження ґрунтується на багатоаспектній методології, яка охоплює аналіз нормативно-правових актів України, зокрема Закону України №3038-VI [1] та відповідних постанов Кабінету Міністрів України, релевантних директив і регламентів Європейського Союзу, а також наукових публікацій та аналітичних звітів Міжнародної асоціації просторового планування та Європейської комісії з питань європейської інтеграції та містобудівної політики. Застосовано методи системного аналізу для встановлення взаємозв'язків між компонентами законодавства, порівняльно-правового аналізу для співставлення національних та європейських правових норм, логічного узагальнення для формування висновків та прогнозування для оцінки майбутніх наслідків. Емпіричну базу склали офіційні документи Європейської Комісії (наприклад, звіти про розширення), Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України (зокрема, дорожні карти гармонізації), а також статистичні дані Державної служби статистики України та Євростату стосовно показників містобудівної діяльності та екологічної безпеки.

Результати та обговорення

Системні принципи регулювання процесів планування, забудови та використання територій, з урахуванням багатогранних державних, громадських та приватних інтересів, закріплені в Законі України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17 лютого 2011 року. Цей законодавчий акт є наріжним каменем для подальшої інтеграції української правової бази до **acquis communautaire** Європейського Союзу. Сучасні законодавчі ініціативи, зокрема законопроект №5655, разом із коригуваннями підзаконних нормативних актів, спрямовані на підвищення

ефективності процедур громадських слухань та забезпечення більшої прозорості у процесі розробки містобудівної документації, що є однією з фундаментальних вимог ЄС у контексті належного демократичного врядування та екологічної оцінки[1].

Система містобудівного планування в Україні, відповідно до статті 17 [1], організована за такими рівнями:

1. Генеральна схема планування території України: Цей документ є загальнодержавним стратегічним орієнтиром, що визначає ключові вектори просторового розвитку на загальнонаціональному та регіональному рівнях (стаття 8 [1]). Він встановлює фундаментальні засади розміщення виробничих потужностей, визначає екологічні обмеження та пріоритетні напрямки для використання земельних ресурсів.

2. Генеральний план населеного пункту: На рівні міст та селищ цей документ виконує роль деталізованої містобудівної документації, що регулює процеси планування та забудови [1]. Він визначає функціональне призначення територій, схему транспортної інфраструктури, розташування об'єктів соціальної сфери та інженерних мереж.

3. Детальний план території: Розробляється з метою уточнення планувальних рішень, закладених у Генеральному плані, або для організації забудови конкретних ділянок [1]. Він деталізує розміщення споруд та будівель, питання благоустрою та інженерного забезпечення в межах певного району чи кварталу.

4. Містобудівні умови та обмеження: Ці регуляторні інструменти встановлюють конкретні параметри забудови та умови експлуатації окремих земельних ділянок [1]. Їх видають уповноважені органи у сфері містобудування та архітектури.

Проведене порівняльне дослідження виявило системні недоліки в українському містобудівному законодавстві, що суттєво ускладнює його гармонізацію з вимогами *acquis communautaire* ЄС, а саме:

- Дроблення нормативної бази - спостерігається велика кількість підзаконних актів, що ускладнює цілісне та послідовне застосування законодавства. Наприклад, відсутність єдиного комплексного закону про просторове планування, який охоплював би всі рівні – від загальнодержавного до місцевого – призводить до регулятивних розривів, що контрастує з уніфікованою системою просторового планування в країнах ЄС.

- Недостатня інтеграція екологічних стандартів. Попри наявність Закону України «Про оцінку впливу на довкілля», він не повністю охоплює весь спектр вимог [2] та щодо стратегічної екологічної оцінки. Зокрема, українське законодавство демонструє прогалини у включенні аспектів біорізноманіття [3] та вимог щодо енергоефективності будівель до процесів містобудівного планування. Згідно з аналітичними звітами Європейської

Комісії, рівень імплементації екологічних директив у містобудівній сфері становить лише близько 60%.

- Обмеженість громадської участі. Незважаючи на впроваджені зміни, механізми участі громадськості, передбачені статтею 21 [1], все ще не повною мірою відповідають вимогам [5]. Часто громадські слухання мають формальний характер, і їхні результати не завжди ефективно інтегруються у фінальні рішення. За даними соціологічних досліджень, лише 20% громадян вважають, що їхня думка реально впливає на прийняття містобудівних рішень.

Шлях України до Європейського Союзу нерозривно пов'язаний із глибокою гармонізацією національних правових актів з європейським «*acquis communautaire*», особливо в контексті містобудівної діяльності. На сьогоднішній день виявлено низку фундаментальних проблем, які істотно гальмують повноцінне запровадження європейських стандартів, зокрема у сферах просторового планування, екологічної оцінки та забезпечення прозорості.

Актуальне українське законодавство все ще демонструє розбіжності з основними директивами ЄС, що стосуються комплексного просторового планування та сталого розвитку[1]. Зокрема, про стратегічну екологічну оцінку (CEO) та про оцінку впливу на довкілля (ОВД) наполягають на значно глибшій інтеграції екологічних аспектів на всіх етапах планування.

Проведений аналіз виявив системні недоліки в регулюванні містобудівної діяльності:

1. Нормативне закріплення переліку містобудівної документації [1] не передбачає механізмів інтеграції екологічних та соціальних критеріїв сталого розвитку згідно з європейськими стандартами.
2. Відсутність правового регулювання оцінки транскордонних впливів суперечить вимогам ЄС та зобов'язанням за Конвенцією Еспоо.
3. Не розроблено єдиної методологічної бази для імплементації принципів сталого розвитку на різних рівнях планування, що обумовлює їх вибіркове застосування.

Незважаючи на ухвалення Законів України «Про стратегічну екологічну оцінку» (2018 рік) та «Про оцінку впливу на довкілля» (2017 рік), їхня практична імплементація у сфері містобудування залишається неповною. Процедури нерідко є суто формальними, а їхні результати не завжди ефективно використовуються при прийнятті рішень щодо містобудівної документації.

Проведений аналіз виявив конкретні невідповідності:

- Якість звітів ОВД/CEO - часто звіти є поверхневими, їм бракує всебічної оцінки кумулятивних ефектів, аналізу альтернативних варіантів та адекватних заходів для пом'якшення впливу, що прямо суперечить вимогам [4].

- Залучення громадськості - хоча передбачено проведення громадських слухань, механізми їхньої організації та врахування пропозицій часто є недостатньо ефективними, порівняно з європейською практикою, що спирається[1] на Директиву 2003/4/ЕС про доступ громадськості до екологічної інформації[5].
- Моніторинг та післяпроектний аналіз - відсутність послідовного системного моніторингу за виконанням заходів ОВД/СЕО після затвердження містобудівної документації.

Недостатній рівень цифровізації та відкритості містобудівних даних суперечить фундаментальним принципам ЄС щодо прозорості державного управління та активної участі громадськості. Це уповільнює доступ до необхідної інформації, ускладнює громадський контроль та підвищує ймовірність корупційних ризиків.

Релевантні дані та приклади:

- Лише 45% містобудівних документів в Україні (згідно з даними Міністерства освіти і науки за 2023 рік) доступні у відкритих цифрових реєстрах в повному обсязі, що значно поступається середньому показнику в ЄС (який становить близько 85-90%).
- Електронна система містобудівного кадастру: Хоча стаття 22 передбачає створення містобудівного кадастру, його інтеграція та рівень наповнення на місцевому рівні залишаються вкрай низькими, що обмежує доступ громадян до детальної інформації[1].
- Застарілі формати даних: Значна частина доступних даних представлена у неструктурованих форматах (PDF-документи, відскановані копії), що суттєво ускладнює їхній аналіз та подальше використання.

Впровадження європейських стандартів ускладнюється проблемами координації між центральними (Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України) та місцевими органами влади (структурні підрозділи містобудування та архітектури). Відсутність чітких механізмів контролю та персональної відповідальності за порушення містобудівних норм створює правові прогалини та сприяє безкарності.

- Поліпшення координації: Необхідно посилити роль центральних органів влади у наданні методологічної допомоги та моніторингу за дотриманням європейських стандартів на локальному рівні.
- Підвищення відповідальності: Критично важливим є розроблення та впровадження більш чітких механізмів адміністративної та кримінальної відповідальності для посадових осіб за порушення містобудівного законодавства, гармонізованого з нормами ЄС.
- Навчання та кадрове забезпечення: Існує гостра потреба у підвищенні кваліфікації фахівців у сферах містобудування, екології та права щодо застосування європейських норм та директив.

- Встановлення термінів: Для прискорення процесу інтеграції пропонується визначити чіткі етапи та дедлайни: до кінця 2025 року – повна цифровізація містобудівної документації у великих містах; до 2027 року – повна гармонізація всіх ключових директив ЄС у національному законодавстві.

Успішний шлях України до Європейського Союзу в контексті містобудування та просторового планування вимагає не просто декларативного перегляду, а й глибоких структурних перетворень. Ці реформи повинні базуватися на системному підході, скоординованих зусиллях усіх ешелонів влади, а також активному залученні громадськості та експертного середовища, а саме:

1. Комплексне оновлення нормативно-правової бази. Розробка цілісного, уніфікованого законодавчого акту, який поєднає положення щодо просторового планування, екологічних стандартів, регламенту оцінки впливу на довкілля (ОВД) та стратегічної екологічної оцінки (СЕО), а також дієвих механізмів громадської участі, відповідно до ключових директив ЄС. Це передбачає всебічний перегляд та адаптацію до принципів сталого розвитку та засад «зеленого» переходу, викладених у Європейському зеленому курсі. Нагальним є врахування вимог стосовно ОВД та щодо СЕО на рівні фундаментального містобудівного законодавства, забезпечуючи їхній пріоритет над вузькогалузевими нормами.

2. Посилення інтеграції ОВД та СЕО у містобудівні процеси. Необхідне повне впровадження положень "Про оцінку впливу певних публічних та приватних проєктів на навколишнє середовище"[2] та "Про оцінку впливу деяких планів та програм на навколишнє середовище"[3]. Це означає невід'ємне, а не лише формальне, інтегрування висновків ОВД та СЕО в усі етапи розробки та затвердження містобудівної документації, починаючи від Генеральних планів населених пунктів до Детальних планів територій. Попри те, що стаття 10 [1] вимагає затвердження містобудівної документації з урахуванням екологічних вимог, на практиці висновки СЕО часто не призводять до суттєвих змін у проєктах. Наприклад, у 2022 році лише 5% з усіх проведених СЕО зумовили відхилення або значний перегляд планів, що чітко вказує на існуючий формалізм процедури.

3. Прискорене впровадження цифрових технологій у містобудівну сферу. Невідкладне запровадження відкритих та інтероперабельних цифрових платформ для доступу до містобудівної документації через Єдину державну електронну систему у сфері будівництва (ЄДЕСББ) та її подальша інтеграція з Містобудівним кадастром. Ця ініціатива має повністю відповідати принципам та стандартам "Про створення інфраструктури просторової інформації у Європейському Співтоваристві"[6]. Наразі, згідно з даними Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури, близько 45% містобудівних документів все ще не оцифровано або оцифровано частково, що перешкоджає вільному доступу та ефективному

моніторингу. Стратегічною метою є досягнення 90% цифрової доступності всіх містобудівних даних до кінця 2025 року.

4. Розширення та інституціоналізація механізмів громадської участі. Впровадження ефективних інструментів громадських слухань та консультацій на всіх етапах формування та затвердження містобудівної документації, відповідно до засад "Про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля"[5]. Необхідною є розробка чіткого регламенту проведення слухань, що забезпечить не лише їхню фіксацію, а й гарантуватиме врахування обґрунтованих пропозицій громадськості. Стаття 21 вимагає проведення громадських слухань, проте їхня ефективність та вплив на остаточні рішення часто залишаються недостатніми[1]. Дослідження 2023 року виявило, що лише 38% громадських слухань мали відчутний вплив на кінцеві рішення.

5. Удосконалення міжвідомчої взаємодії. Створення постійно функціонуючих міжвідомчих робочих груп та розробка інтегрованих стратегій розвитку, які забезпечать ефективну співпрацю між центральними органами виконавчої влади (наприклад, Міністерством розвитку громад, територій та інфраструктури, Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів) та органами місцевого самоврядування. Необхідно затвердити чіткі протоколи взаємодії та механізми обміну інформацією з метою уникнення дублювання функцій та розбіжностей у застосуванні законодавчих норм. Наразі відсутність такої координації призводить до затримок у реалізації проєктів та конфліктів інтересів, як це було зафіксовано у 2021 році у 15% випадків при затвердженні регіональних планів розвитку.

6. Впровадження ефективної системи моніторингу та відповідальності. Запровадження незалежного контролю за дотриманням містобудівних норм, використовуючи європейські стандарти юридичної та адміністративної відповідальності за їх порушення. Це передбачає перегляд системи штрафів, посилення ролі Державної інспекції архітектури та містобудування (ДІАМ) та забезпечення можливості громадського моніторингу через цифрові платформи. Важливим аспектом є також забезпечення підзвітності посадових осіб за прийнятті рішення, що не відповідають законодавству ЄС.

Висновки

Гармонізація українського містобудівного законодавства з *acquis communautaire* ЄС є імперативним стратегічним кроком, що відкриває широкі можливості для сталого розвитку територіальних громад, значного підвищення інвестиційної привабливості регіонів та гарантування найвищих стандартів екологічної безпеки. Цей процес є життєво важливим

для всебічної євроінтеграції України та відповідає основоположним принципам Європейської Зеленої Угоди.

Разом з тим, успішна реалізація окреслених завдань вимагає не лише глибоких системних реформ законодавчої та нормативно-правової архітектури, але й суттєвого посилення інституційної спроможності владних структур на всіх рівнях. Також критично важливим є забезпечення активної та конструктивної участі громадськості на кожному етапі містобудівної діяльності, як це закріплено у відповідних Директивах ЄС та принципах Орхуської конвенції.

Необхідна всеосяжна модернізація правової бази, зокрема адаптація Закону України №3038-VI "Про регулювання містобудівної діяльності". Це передбачає інтеграцію положень Директив 2011/92/ЄС (щодо ОВД) та 2001/42/ЄС (щодо СЕО), деталізацію процедур, уніфікацію термінології та впровадження єдиних стандартів просторового планування на національному й місцевому рівнях. Особлива увага має бути приділена Статтям 16-21, які регулюють розроблення та затвердження містобудівної документації.

Ключовим є підвищення професійного рівня та кваліфікації посадових осіб Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури, обласних державних адміністрацій і органів місцевого самоврядування. Цей процес включає розробку цільових навчальних програм, сертифікацію фахівців та формування міжвідомчих експертних груп для координації впровадження європейських стандартів. Досвід Польщі після вступу до ЄС демонструє, що інвестиції в навчання кадрів сприяли прискоренню інтеграційних процесів на 30%.

Активне залучення громадськості до процесу прийняття рішень через удосконалені механізми громадських слухань та консультацій є обов'язковим і відповідає вимогам Орхуської конвенції та Статті 21 Закону України №3038-VI, яка стосується інформування громадськості. Приклад скандинавських країн підтверджує, що широке залучення громадян до прийняття рішень може зменшити кількість конфліктів до 40% та прискорити реалізацію проектів.

Успішна гармонізація зі стандартами ЄС забезпечить відповідність українських будівельних норм (ДБН) та процедур найкращим європейським практикам. Це прогнозовано призведе до збільшення обсягу іноземних інвестицій у будівельний сектор на 15-20% протягом перших 5 років після повної інтеграції, а також сприятиме формуванню конкурентного ринкового середовища та значному поліпшенню якості життя громадян.

Отже, успішна інтеграція містобудівного законодавства України до *acquis communautaire* відкриє принципово нові можливості для українських міст та регіонів. Це не лише посилить їхню конкурентоспроможність у контексті європейської інтеграції, а й закладе міцний підґрунтя для сталого просторового розвитку, підвищення стійкості інфраструктури та

поліпшення якості життя мешканців. Завдяки цьому Україна зможе ефективніше використовувати фінансові інструменти ЄС, зокрема для проєктів "Smart City" та "Green City", що залучають до 50% фінансування з європейських програм.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Law of Ukraine "On Regulation of Urban Development Activities" dated February 17, 2011 No. 3038-VI. (2025). *Vidomosti Verkhovnoi Rady of Ukraine*. No. 34. Art. 343.
2. Directive 2011/92/EU of the European Parliament and of the Council of 13 December 2011 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. (2012). *Official Journal of the European Union*. L 26.
3. Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. (2001). *Official Journal of the European Union*. L 197.
4. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). (2007). *Official Journal of the European Union*. L 108.
5. Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters. (1999). *Vidomosti Verkhovnoi Rady of Ukraine*. No. 34. Art. 296.
6. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). On Approval of the Procedure for Public Hearings on Urban Planning Documentation Projects. Resolution No. 1557. *Official Bulletin of Ukraine*. No. 5.
7. European Commission. (2025). *Ukraine Report 2025: Chapter 22 - Regional Policy and Coordination of Structural Instruments*. Brussels. Retrieved from <https://ec.europa.eu/enlargement/ukraine-report-2025>
8. Law of Ukraine "On Environmental Impact Assessment" dated May 23, 2017 No. 2059-VIII. (2025). *Vidomosti Verkhovnoi Rady of Ukraine*. No. 29. Art. 315.
9. Law of Ukraine "On Strategic Environmental Assessment" dated March 20, 2018 No. 2354-VIII. (2025). *Vidomosti Verkhovnoi Rady of Ukraine*. No. 16. Art. 139.

10. Ministry of Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine. (2024). *Roadmap for Harmonization of Urban Planning Legislation with EU Acquis Communautaire for 2024-2030*. Kyiv. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/roadmap-urban-eu-2030>
11. State Building Codes of Ukraine B.2.2-12:2019 "Planning and Development of Territories". (2019). *Official Bulletin of Ukraine*. No. 45.
12. European Environment Agency. (2025). *Environmental Status Report: Urban Planning and Sustainable Development in Candidate Countries 2025*. Copenhagen. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-planning-2025>

Література

1. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17 лютого 2011 р. № 3038-VI. *Відомості Верховної Ради України*. 2011. № 34. Ст. 343. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>
2. Директива 2011/92/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 13 грудня 2011 р. про оцінку впливу певних публічних і приватних проєктів на навколишнє середовище. *Офіційний вісник Європейського Союзу*. 2012. № L 26. С. 1–21. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011L0092>
3. Директива 2001/42/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 27 червня 2001 р. про оцінку впливу окремих планів та програм на навколишнє середовище. *Офіційний вісник Європейського Союзу*. 2001. № L 197. С. 30–37. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32001L0042>
4. Директива 2007/2/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 14 березня 2007 р. про створення інфраструктури просторової інформації у Європейському Співтоваристві (INSPIRE). *Офіційний вісник Європейського Союзу*. 2007. № L 108. С. 1–14. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0002>
5. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля : ратиф. Законом України від 6 лип. 1999 р. № 832-XIV. *Відомості Верховної Ради України*. 1999. № 34. Ст. 296. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_785#Text
6. Про затвердження Порядку проведення громадських слухань щодо проєктів містобудівної документації : постанова Кабінету Міністрів України від 31 груд. 2024 р. № 1557. *Офіційний вісник України*. 2025. № 5. Ст. 320. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1557-2024-%D0%BF#Text>
7. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23 травня 2017 р. № 2059-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2017. № 29. Ст. 315. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
8. Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 20 березня 2018 р. № 2354-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2018. № 16. Ст. 139. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text>
9. Державні будівельні норми ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій». *Офіційний вісник України*. 2019. № 45. Ст. 156. URL: https://dbn.co.ua/load/normativnyi/dbn_b_2_2_12_2019_planuvannya_i_zabudova_teritorij/4-1-0-2265

10. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. *Дорожня карта гармонізації містобудівного законодавства з *acquis communautaire* ЄС на 2024–2030 роки*. Київ, 2024. URL: <https://mtu.gov.ua/roadmap-urban-eu-2030>

11. Європейська комісія. *Звіт про розширення України до 2025 року: Розділ 22 – Регіональна політика та координація структурних інструментів*. Брюссель, 2025. URL: <https://ec.europa.eu/enlargement/ukraine-report-2025>

12. European Environment Agency. *Environmental status report: urban planning and sustainable development in candidate countries 2025*. Copenhagen, 2025. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-planning-2025>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 17.11.2025	Received 17.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

N. Riabych

Candidate of Law, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4177-698X>
Department of Law,
LutskNational Technical University, Ukraine,

*corresponding author, e-mail: n.riabych@lntu.edu.ua

Legal mechanisms for integrating Ukrainian urban planning legislation into the EU *acquis communautaire*: problems and harmonization priorities

How to cite:
Ryabych, N.V. (2025). Legal Mechanisms for Integrating Ukrainian Urban Planning Legislation into the EU *Acquis Communautaire*: Problems and Harmonization Priorities. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 384-397. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-33](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-33)

© 2025, Ryabych N.V.

*Abstract. This article provides a detailed analysis of the legal instruments and mechanisms that are essential for the successful integration of Ukrainian urban planning legislation into the European Union's *acquis communautaire*. The research is based on a thorough comparison of the provisions of the Law of Ukraine No. 3038-VI "On the Regulation of Urban Planning Activities" (dated February 17, 2011, with subsequent amendments) with key EU regulatory acts, namely: Directive 2011/92/EU "On the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment", Directive 2001/42/EC "On the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment", and Regulation (EC) No 1082/2006 on a European grouping of territorial cooperation (EGTC).*

The study identifies significant shortcomings and discrepancies that impede harmonisation. In particular, there are difficulties in implementing an integrated approach to spatial planning, as current legal acts, despite certain positive developments (such as Article 17 of Law No. 3038-VI, which regulates general plans), do not ensure proper coordination between planning documents at different levels. Insufficient integration of Environmental Impact Assessment (EIA) and Strategic Environmental Assessment (SEA) procedures has been identified, manifesting in their fragmented application and the lack of a unified methodological basis, which contradicts the requirements of Directives 2011/92/EU (for projects) and 2001/42/EC (for plans and programmes). A characteristic example of non-compliance is the absence of explicit provisions for considering transboundary impact in Ukrainian EIA procedures. The limited digitalisation of urban planning processes, despite progress in creating the Unified State Electronic System in the Construction Sector, still does not meet the criteria of the INSPIRE Directive 2007/2/EC on the infrastructure for spatial information in the European Community, particularly regarding data interoperability and openness. Another problematic aspect is the insufficient level of public participation in decision-making, as the existing mechanisms (e.g., public hearings provided for in Article 21 of Law No. 3038-VI) are often formal and do not guarantee real influence on the outcome.

Furthermore, institutional challenges are considered, including the low efficiency of coordination between the Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine and the State Inspectorate for Architecture and Urban Planning of Ukraine, as well as with local self-government bodies in the field of spatial development. This leads to discrepancies in law enforcement practices and delays in approval procedures. In this regard, key directions for harmonisation are proposed: the development of a unified comprehensive legislative act that would consolidate and improve the norms of spatial planning and development, taking into account the EU's sustainable development principles. It is also necessary to strengthen environmental standards and fully implement all provisions of Directives 2011/92/EU and 2001/42/EC, including the development of detailed by-laws and methodological guidelines. The implementation of comprehensive digital platforms for urban planning documentation and permit procedures, in accordance with the INSPIRE principles and the "single window" concept, is critically important. It is proposed to expand mandatory forms of public participation, including at the early stages of planning, and to ensure full access to information, as provided for by the Aarhus Convention. The successful implementation of these priorities, provided that an effective compliance monitoring system is established (for example, through annual reports by the Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine), will contribute to sustainable territorial development, increased investment attractiveness of Ukraine, and the assurance of high environmental standards in the context of full-scale European integration.

Keywords: urban planning legislation, European integration, spatial planning, environmental impact assessment, strategic environmental assessment.

УДК 624.01-691

Р. Г. Салабай*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9820-652X>,

Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу
Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, Львів, Україна, 79057

І. І. Салабай

к.т.н., старший викладач, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6219-9869>

Кафедра технологій лісопилення, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, Львів, Україна, 79057

Р. Б. Щупаківський

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5242-1267>

Кафедра технологій лісопилення, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, Львів, Україна, 79057

І. М. Матюшенко

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6475-1901>

Кафедра технологій лісопилення, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, Львів, Україна, 79057

С. В. Гайда

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

Кафедра технологій меблів та виробів з деревини
Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, Львів, Україна, 79057

*автор-кореспондент, e-mail: roman_salabay@nltu.edu.ua

Застосування конструкційних деревинних плитних матеріалів у будівництві

Цитувати як:

Салабай, Р. Г., Салабай, І. І., Щупаківський, Р. Б., Матюшенко, І. М., Гайда, С. В. (2025). Застосування конструкційних деревинних плитних матеріалів у будівництві. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 398-408. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-34](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-34)

© 2025, Салабай Р. Г., Салабай І. І., Щупаківський Р. Б., Матюшенко І. М., Гайда С. В.

В оглядовій статті наведено аналіз застосування деревини як конструкційного будівельного матеріалу, а також її похідних – плитних матеріалів (фанери, OSB, MDF). Розглянуто їхні основні характеристики і переваги та недоліки.

Деревина залишається популярним матеріалом в будівництві завдяки низці унікальних властивостей. Її переваги: екологічність (відновлюваний ресурс), низька теплопровідність (високі теплоізоляційні властивості, що знижує витрати на опалення), висока питома міцність (співвідношення міцності до ваги), легкість обробки тощо. Проте, деревина є неоднорідною за структурою, схильна до деформації через зміни вологості, уразлива до біологічного руйнування та має низьку вогнестійкість без спеціальної обробки. Це вимагає додаткового захисту та регулярного обслуговування конструкцій.

Деревинні плитні матеріали є результатом технологічної переробки деревинної сировини, що дозволяє усунути деякі недоліки натуральної деревини та використовувати відходи виробництва.

Плитні матеріали мають низку вагомих переваг над натуральною деревиною та іншими матеріалами. Зокрема, це: висока конструкційна стабільність (завдяки пресуванню та склеюванню вони мають сталу форму і менше схильні до деформації, набрякання чи викривлення під впливом зміни вологості); висока питома міцність та жорсткість; ефективне використання ресурсів (можна застосовувати деревинні відходи, підвищуючи екологічну ефективність виробництва); технологічність та швидкість монтажу (плити легко обробляються, мають стандартизовані розміри, що скорочує терміни будівництва та зменшує кількість відходів на будівельному майданчику); тепло- та звукоізоляція (багатошарові конструкції забезпечують високу енергоефективність будівель).

Незважаючи на зазначені недоліки, завдяки хіміко-механічній обробці та правильному конструкційному захисту, деревина і її похідні є вигідними матеріалами, що успішно конкурують з іншими конструкційними матеріалами, особливо в малоповерховому та енергоефективному будівництві.

Ключові слова: деревина, плитні матеріали, фанера, стружкова плита, волокниста плита, фізико-механічні властивості.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Будівельні конструкції характеризуються комбінацією різних будівельних матеріалів, які разом забезпечують найкращу можливу несучу здатність, тепло-, звуко- і вологоізоляцію, вогнестійкість та тривалий термін експлуатації.

Деревина – універсальна сировина і єдиний поновлюваний будівельний матеріал. Збільшення частки деревини в будівництві сприятиме скороченню використання будівельних матеріалів, які не походять з поновлюваної сировини. Для виробництва бетону, сталі, цегли потрібна велика кількість енергії, що спричиняє більш високі викиди вуглекислого газу, ніж переробка деревини [1].

Деревина за своєю питомою міцністю конкурує з сучасними конструкційними матеріалами [2]. Вона може замінити інші будівельні матеріали у багатьох конструкціях, забезпечуючи однакову функціональність. Але різноманітні природні вади деревини, зокрема, неминуча наявність в деревині сучків і тріщин, суттєво зменшують її механічні властивості. Тому, використовувати високу питому міцність натуральної деревини не легко, а її застосування в деревинних композиційних матеріалах (ДКМ) і клеєних дерев'яних конструкціях створює великі можливості [2].

До найпоширеніших конструкційних деревинних плитних матеріалів, які використовуються у будівництві, відносять фанеру і стружкові плити, зокрема, OSB (oriented strand board) – стружкова плита із орієнтованою стружкою та волокнисті плити, зокрема, MDF (medium-density fibreboard) – волокниста плита середньої щільності (рис. 1).

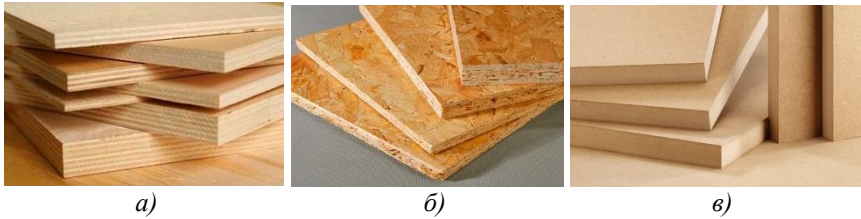


Рис. 1. Загальний вигляд конструкційних деревинних плитних матеріалів:
 а) фанера; б) плита OSB; в) плита MDF.

ДКМ поєднують в собі експлуатаційні властивості складових, наприклад, у фанері сумісно використовуються властивості шпону і клею. Завдяки сумісній роботі різних вихідних матеріалів властивості композиту відрізняються від властивостей кожного з його компонентів [3, 4, 5].

Оптимальною класифікацією деревинних композиційних матеріалів є класифікація за структурно-технологічними ознаками (рис. 2) [6, 7].



Рис. 2. Класифікація деревинних композиційних матеріалів [6].

Остання класифікаційна ознака дає можливість розділити галузі застосування конструкційних деревинних плитних матеріалів у будівництві [6].

Мета і завдання дослідження. З аналізу літературних джерел бачимо, що важко розмежувати сфери використання ДКМ. Вони мають вагоме значення для різних галузей, зокрема, для будівництва. Метою і завданням дослідження було проаналізувати застосування основних

конструкційних деревинних плитних матеріалів у будівництві, їхні характеристики, переваги й недоліки.

Результати та обговорення

Сьогодні у будівництві частіше за масивну деревину застосовують її похідні: деревинні плитні матеріали (фанера, OSB, MDF).

Фанера – листовий будівельний матеріал, виготовлений із натуральної деревини, який зазвичай складається зі щільно склеєних по товщині декількох тонких шарів деревини (шпону) [2]. Тобто, фанера – це шарувата клеєна деревина, яка складається з склеєних між собою трьох і більше листів лущеного шпону з взаємно перпендикулярним розташуванням волокон деревини в суміжних шарах [8, 9].

Основною класифікаційною ознакою фанери є її призначення. До інших класифікаційних ознак відносяться: порода деревини, формат листа, товщина фанери, конструкція листа, фізико-механічні властивості, наявність захисного або опоряджувального покриття тощо.

OSB – листовий матеріал, що складається з деревинної стружки, склеєної різними смолами з додаванням модифікаторів, причому, стружка в шарах плити має визначену орієнтацію: у зовнішніх – поздовжню, у внутрішніх – поперечну [2, 9, 10].

Для виготовлення плит OSB використовують тонку, довгу стружку товщиною 0,3 - 0,6 мм, довжиною 60 - 90 мм, шириною 5 - 12 мм. Оптимальний ступінь гнучкості її, тобто відношення довжини до товщини, становить 150. Однією з вимог, що висуваються до стружки, є її однорідність за розмірами і формою. Тому недоцільно виготовляти її з деревини кільцесудинних порід, оскільки в цьому разі частинки розтріскуються на межі між ранньою і пізньою зонами річних шарів. Стружка найкращої якості отримується з деревини з рівномірною структурою [9, 11].

Як клеї у виробництві OSB використовують рідкі або порошкоподібні фенолоформальдегідні, карбамідомеламіноформальдегідні та ізоціанатні смоли. Витрата клею коливається від 3% (при використанні порошкоподібних смол) до 6-8% (рідкі смоли). Низька витрата клею забезпечується за рахунок відносно невеликої поверхні стружки, зумовленої її великими розмірами і незначним вмістом дрібних частинок.

За міцністю на згин OSB не поступаються фанері, що використовується в будівництві. Нарівні з цим вони мають ряд переваг порівняно з фанерою. Для їх виготовлення можна використати деревину низької якості і невеликого діаметра (осердя, горбилі, верхівки дерев).

Технологія виробництва цих плит дозволяє використати до 80% перероблюваної сировини (при виробництві фанери: 45 - 55%). OSB мають підвищену здатність втримувати шурупи і цвяхи.

Для порівняння у табл. 1. наведено фізико-механічні показники фанери з деревини сосни і тришарових OSB товщиною 12 мм на феноло-формальдегідному клеї з осикової і ялинової стружки, орієнтованої в зовнішніх шарах у поздовжньому, а у внутрішньому шарі в поперечному напрямку.

Таблиця 1. Фізико-механічні показники фанери і плит OSB

Показник	Значення показника для		
	фанери	OSB зі стружки	
		осикової	ялинової
Щільність, кг/м ³	500	650	650
Міцність на згинання, МПа:			
вздовж волокон	50,0	50,5	52,0
впоперек волокон	15,0	18,0	18,5
Модуль пружності при статичному згинанні, МПа:			
вздовж волокон	8000	8600	8600
впоперек волокон	1200	2100	2700
Міцність на поперечний розтяг, МПа	0,85	0,51	0,65
Лінійне подовження, %:			
вздовж волокон	0,06	0,10	0,08
впоперек волокон	0,12	0,15	0,14

Висока міцність OSB обумовила їх використання в будівництві для стель і підлоги, для опорядження стін ззовні і всередині.

OSB поділяють на класи:

- OSB-1 – призначена для використання в умовах зниженої вологості;
- OSB-2 – використовується при виготовленні несучих конструкцій в сухих приміщеннях;
- OSB-3 – використовується при виготовленні несучих конструкцій в умовах підвищеної вологості;
- OSB-4 – використовується при виготовленні конструкцій, несучих значне механічне навантаження в умовах підвищеної вологості.

Переваги плит OSB:

- висока міцність, особливо уздовж головної осі;
- достатня пружність;
- низький коефіцієнт набрякання при дії води;
- практично вільна від формальдегіду;
- пожежна класифікація – важкозаймистий продукт;
- легка і швидка обробка;
- невелика вага;

- простий монтаж;
- стабільність параметрів;
- надає жорсткість конструкції даху і каркаса;
- повністю відсутній ефект викривлення і скручування;
- велика ступінь опору виймання шурупів.

Як конструкційний матеріал OSB використовується нарівні з фанерою, а як оздоблювальний матеріал – конкурує з MDF і ВП. OSB плити мають значні переваги, у числі яких – підвищена міцність, надійність, легкість, простота обробки і висока ступінь екологічності порівняно з матеріалами схожого складу і структури [12].

MDF – плитний матеріал, що виготовляється методом сухого пресування дрібнодисперсних деревинних частинок (волокон) при високому тиску і температурі. Як клейовий матеріал використовуються карбамідоформальдегідні смоли, модифіковані меламіном [2, 13, 14, 15].

MDF відрізняються рівномірною структурою по крайках і площині, характеризуються наявністю тонких деревинних волокон. За наявності рівномірного профілю щільності або об'ємної маси на поперечному перетині плити, щільність і зімкнутість волокон надають цьому деревинному матеріалові такої здатності оброблятися, яка може бути порівняна з можливістю оброблятися масивної деревини.

Отже, MDF плити є прекрасним матеріалом для личкування та опорядження, а також для будь-якої верстатної обробки, зокрема, токарної.

Стружкові та волокнисті плити середньої щільності мають подібні властивості, але між ними є і відмінності. Обидва види плит виготовляють, як правило, товщиною 10 - 25 мм, щільністю 700 кг/м³. Але вони значно відрізняються структурою.

Фізико-механічні властивості тришарових стружкових плит (СП) порівняно з властивостями одношарових MDF наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості СП і плит MDF

Показник	Значення показника для	
	СП	MDF
Щільність, кг/м ³	550...700	600...850
Міцність на згинання, МПа	18...25	20...40
Міцність на поперечний розтяг, МПа	0,35...0,7	0,4...1
Здатність витримувати витягування шурупів, МПа:	4...9	4,5...11
перпендикулярно площині плити	3...5	4...6,5
паралельно площині плити		

Залежно від умов використання плити MDF поділяють на типи:

- MDF – використання у сухих умовах;
- MDF, H – використання у вологих умовах;
- MDF, LA – використання у сухих умовах під дією навантаження;
- MDF, HLS – використання у вологих умовах під дією навантаження.

Фізико-механічні властивості плит визначаються за стандартом ДСТУ EN 622-5:2006 [16] і наведені у табл. 3.

Таблиця 3. Фізико-механічні властивості плит MDF

Показник	Значення показника для			
	MDF	MDF, H	MDF, LA	MDF, HLS
Набрякання по товщині за 24 год, %	6 – 45	6 – 35	6 – 45	6 – 35
Міцність на розтяг, МПа	0,5 – 0,65	0,6 – 0,8	0,5 – 0,7	0,6 – 0,8
Міцність на згин, МПа	15 – 23	15 – 27	19 – 29	19 – 34
Модуль пружності при згині, МПа	1700 – 2700	2000 – 2700	1900 – 3000	2200 – 3000
Набрякання по товщині після циклічного випробування, %	-	15 – 50	-	15 – 50
Міцність на розтяг після циклічного випробування, МПа	-	0,1 – 0,35	-	0,1 – 0,35
Міцність на розтяг після кип'ятіння, МПа	-	0,1 – 0,2	-	-

Застосовується MDF в будівництві – для вирівнювання стін, їх підготовки під фінішну обробку. У цьому плані вона вважається прекрасним матеріалом, оскільки не має сучків, тріщин і інших видимих дефектів. Також з неї роблять підвіконня і покриття для підлоги.

Плити MDF підвищеної щільності застосовують для обробки підлоги. Матеріал цієї категорії має високу стійкість до стирання: в півтора рази вище ніж у дуба (дуб – 6,9, MDF – 10-11). Слід додати, що коефіцієнт викривлення по діагоналі становить всього 1,2 мм на кожен метр діагоналі (у фанери 15 мм).

Висновки

Виконано аналіз застосування конструкційних деревинних плитних матеріалів у будівництві. Були розглянуті характеристики і переваги та недоліки найпоширеніших конструкційних деревинних плитних матеріалів, які використовуються у будівництві: фанери, стружкових плит із орієнтованою стружкою – OSB (oriented strand board) та волокнистих плит середньої щільності – MDF (medium-density fibreboard). Досліджено, що за міцністю на згинання OSB не поступаються фанері, що використовується в будівництві, хоча для виготовлення OSB застосовується стружка з деревини

нижчої якості і невеликого діаметра, ніж для виготовлення шпону для фанери. У порівняльних таблицях наведено основні фізико-механічні показники фанери і плит OSB, плит MDF і стружкових плит, а також фізико-механічні властивості різних типів плит MDF. Використання деревинних плитних матеріалів у будівництві є економічно вигідною альтернативою іншим традиційним будівельним матеріалам.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Liang Yu, Li Ch, Liu Zh, Wang X, Zeng F, Yuan X, Pan Yu. Decarbonization potentials of the embodied energy use and operational process in buildings: A review from the life-cycle perspective. *Heliyon*, Volume 9, Issue 10, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20190>.
2. Shapoval S. V., Baranova A. A. Lecture notes for the course “Modern building materials and technologies” – Kharkiv: KhNUMG named after O. M. Beketov, 2017. – 97 p. https://eprints.kname.edu.ua/46321/1/2015_%D0%BF%D0%B5%D1%87._11%D0%9B.%202015%20%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%20%D0%BC%D0%B0%D0%B3.pdf.
3. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. 10th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018. 992 p.
4. Jones, R. M. Mechanics of Composite Materials. 2nd ed. Philadelphia: Taylor & Francis, 1999. 538 p.
5. Composite materials. *AZoM – The A to Z of Materials*. 2023. URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=970>.
6. Bekhta, P. A., Salabay, R. G. Classification of wood-based composite materials. *Scientific Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. Lviv, 2002. No. 1. P. 114-117.
7. Forest Products Laboratory. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. General Technical Report FPL–GTR–282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2021. 509 p. URL: <https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fplgtr282.pdf>.

8. Bekhta, P. A. Plywood Production: Textbook [for students of higher educational institutions]. Kyiv: Osnova, 2003. 320 p.
9. Rowell, R. M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Boca Raton: CRC Press, 2005. 487 p.
10. DSTU EN 300:2008. Oriented strand boards (OSB). Terms and definitions, classification and specifications (EN 300:2006, IDT).
11. Bekhta, P. A. Technology of Wood Boards and Plastics: Textbook. Kyiv: Osnova, 2004. 780 p.
12. Kaminsky Yu. OSB boards: characteristics and application of the material. – Dobryi Gospodar ©. 2015-2025. URL: <https://isu.org.ua/osb-plyty-harakterystyky-ta-zastosuvannya-materialu/>.
13. Pugazhenthli N., Anand P. A Review on Preparation of Medium Density Fiberboard with Different Materials. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7, No 3.34. P. 962–965.
14. Lv Y., Liu Y., Jing W. Continuous Flat Pressing of MDF Quality Control Model Framework and Collaborative Programming Approach Based on Wood Fiber Hot Pressing Mechanism. *Frontiers in Plant Science*. 2022. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.956891/full>.
15. Hayda, S. V. Technology of MDF-facades. *Forestry, Timber, Paper and Woodworking Industry*. 2018. Vol. 44. P. 72-82. <https://doi.org/10.36930/42184410>.
16. DSTU EN 622-5:2006. Fibreboards. Specifications. Part 5. Requirements for dry process boards (MDF) (EN 622-5:1997, IDT).

Література

1. Liang Yu, Li Ch, Liu Zh, Wang X, Zeng F, Yuan X, Pan Yu, Decarbonization potentials of the embodied energy use and operational process in buildings: A review from the life-cycle perspective, *Heliyon*, Volume 9, Issue 10, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20190>.
2. Шаповал С. В., Баранова А. А. Конспект лекцій з курсу «Сучасні будівельні матеріали і технології» – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 97 с. https://eprints.kname.edu.ua/46321/1/2015_%D0%BF%D0%B5%D1%87._11%D0%9B.%202015%20%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%20%D0%BC%D0%B0%D0%B3.pdf.
3. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. – 10th ed. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018. – 992 p.
4. Джонс, Р. М. Механіка композиційних матеріалів [англ. Mechanics of Composite Materials]. – 2-ге вид. – Філадельфія: Taylor & Francis, 1999. – 538 с.
5. Composite materials // AZoM – The A to Z of Materials. – 2023. – URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=970>.
6. Бехта П.А., Салабай Р.Г. Класифікація деревинних композиційних матеріалів. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. – Львів, 2002. – № 1. – С. 114-117.
7. Forest Products Laboratory. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. – General Technical Report FPL–GTR–282. – Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2021. – 509 p. – URL: <https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fplgtr282.pdf>.
8. Бехта, П. А. Виробництво фанери: підручник [для студ. вищ. навч. закл.]. – Київ: Основа, 2003. – 320 с.

9. Rowell, R. M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 487 p.
10. ДСТУ EN 300:2008. Плити деревинностружкові з орієнтованою стружкою (OSB). Терміни та визначення понять, класифікація та технічні вимоги (EN 300:2006, IDT).
11. Бехта П.А. Технологія деревинних плит і пластиків: підруч. / П.А. Бехта. – К.: Основа, 2004. – 780 с.
12. Камінський Ю. OSB плити: характеристики та застосування матеріалу. – Добрий Господар ©. 2015-2025. URL: <https://isu.org.ua/osb-plyty-harakterystyky-ta-zastosuvannya-materialu/>.
13. Pugazhenthil N., Anand P. A Review on Preparation of Medium Density Fiberboard with Different Materials. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7, No 3.34. P. 962–965.
14. Lv Y., Liu Y., Jing W. Continuous Flat Pressing of MDF Quality Control Model Framework and Collaborative Programming Approach Based on Wood Fiber Hot Pressing Mechanism. *Frontiers in Plant Science*. 2022. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.956891/full>.
15. Гайда С. В. Технологія МДФ-фасадів. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. 2018. Вип. 44. С. 72-82. <https://doi.org/10.36930/42184410>.
16. ДСТУ EN 622-5:2006 Плити деревноволокнисті. Технічні умови. Частина 5. Вимоги до плит, отриманих сухим способом (MDF) (EN 622-5:1997, IDT).

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

R. G. Salabai*

Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9820-652X>
Department of Wood Composite Materials, Cellulose and Paper Technologies
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynyk St., 103, Lviv, Ukraine, 79057

I. I. Salabai

Cand. Sc. in Engineering, Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6219-9869>
Department of Saw-milling, Joinery and Wooden Building Products
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynyk St., 103, Lviv, Ukraine, 79057

R. B. Shchupakivskyi

Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5242-1267>
Department of Saw-milling, Joinery and Wooden Building Products
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynyk St., 103, Lviv, Ukraine, 79057

I. M. Matiushenko

Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6475-1901>
Department of Saw-milling, Joinery and Wooden Building Products
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynyk St., 103, Lviv, Ukraine, 79057

S. V. Haida

Doct. Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>
Department of Furniture and Wood Products Technology
Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynyk St., 103, Lviv, Ukraine, 79057

*corresponding author, e-mail: roman_salabay@lntu.edu.ua

The use of structural wood-based panel materials in construction

How to Cite:

Salabai R. G., Salabai I. I., Shchupakivskyi R. B., Matiushenko I. M., Haida S. V. (2025). The use of structural wood-based panel materials in construction. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 398-408. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-34](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-34)

Abstract. The article analyses the use of wood as a structural building material, as well as its derivatives – board materials (plywood, OSB, MDF). Their main characteristics, advantages, and disadvantages are considered.

Wood remains a popular material in construction due to a number of unique properties. Its advantages include: environmental friendliness (renewable resource), low thermal conductivity (high thermal insulation properties, which reduces heating costs), high specific strength (strength-to-weight ratio), ease of processing, etc. However, wood is heterogeneous in structure, prone to deformation due to changes in humidity, vulnerable to biological destruction, and has low fire resistance without special treatment. This requires additional protection and regular maintenance of structures.

Wood-based panel materials are the result of technological processing of wood raw materials, which eliminates some of the disadvantages of natural wood and allows the use of production waste.

Panel materials have a number of significant advantages over natural wood and other materials. In particular, these are: high structural stability (thanks to pressing and gluing, they have a stable shape and are less prone to deformation, swelling, or warping under the influence of humidity changes); high specific strength and rigidity; efficient use of resources (wood waste can be used, increasing the environmental efficiency of production); manufacturability and speed of installation (the boards are easy to process and have standardized dimensions, which reduces construction time and the amount of waste on the construction site); heat and sound insulation (multilayer structures ensure high energy efficiency of buildings).

Despite these shortcomings, due to chemical and mechanical treatment and proper structural protection, wood and its derivatives are advantageous materials that successfully compete with other structural materials, especially in low-rise and energy-efficient construction.

Keywords: wood, board materials, plywood, chipboard, particleboard, physical and mechanical properties.

УДК 624.04:519.2

І.В. Самоненко*

PhD, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3366-7894>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: i.samonenko@nltu.edu.ua

Оптимізація проєктування будівельних конструкцій за допомогою ймовірнісних розподілів

Цитувати як:

Самоненко, І.В. (2025). Оптимізація проєктування будівельних конструкцій за допомогою ймовірнісних розподілів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 409-416. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-35](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-35)

© 2025, Самоненко І.В.

У статті досліджено застосування ймовірнісних моделей для оптимізації проєктування будівельних конструкцій в умовах експлуатаційної невизначеності, що є актуальним завданням сучасної інженерії. На відміну від традиційних детермінованих методів, ймовірнісний підхід забезпечує більш реалістичне прогнозування деградації конструкцій завдяки урахуванню змінних навантажень, неоднорідності матеріалів, випадкових кліматичних впливів та стохастичних процесів зношення. На основі даних з відкритих матеріалознавчих ресурсів і результатів чисельного моделювання, виконаного в Python, проаналізовано поведінку сталевих, бетонних та частково дерев'яних конструкцій за допомогою розподілу Вейбулла й експоненціального розподілу. Розподіл Вейбулла продемонстрував високу ефективність у моделюванні втомних відмов сталевих елементів при різних рівнях навантаження, дозволяючи оцінити ризики руйнування на ранніх етапах експлуатації. Експоненціальна модель виявилася придатною для опису довготривалого зносу бетонних конструкцій, особливо за умов різних температурних коливань та підвищеної вологості. Додаткові характеристики, такі як функція безпеки, функція надійності та цільність розподілу експлуатаційних показників, дали можливість оцінити довговічність матеріалів у часі та визначити оптимальні межі їх використання. Порівняльний аналіз сталі, бетону й деревини підтвердив, що сталь залишається найбільш надійним матеріалом для високо навантажених та відповідальних конструкцій, тоді як бетон є економічно обґрунтованим рішенням для споруд зі середнім рівнем навантаження, а деревина виявляє задовільні результати лише за стабільних кліматичних умов. Отримані результати демонструють, що впровадження ймовірнісних методів у проєктування суттєво підвищує точність інженерних прогнозів, знижує ризики експлуатаційних відмов і сприяє більш обґрунтованому вибору матеріалів відповідно до очікуваних умов роботи конструкцій.

Ключові слова: ймовірнісні розподіли, розподіл Вейбулла, надійність конструкцій, моделювання деградації, ймовірність відмови, будівельні матеріали, оцінка ризиків.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Проектування будівельних конструкцій є багатофакторним процесом, що вимагає врахування властивостей матеріалів, характеристик навантажень, кліматичних умов та змін їхніх параметрів у часі. Сучасні матеріалознавчі бази даних, зокрема The Materials Project [1], демонструють значну варіативність фізико-механічних параметрів матеріалів, що прямо впливає на точність інженерних розрахунків. Традиційні детерміновані моделі припускають фіксовані значення навантажень і параметрів матеріалів, однак реальні умови експлуатації не є сталими — вони змінюються під впливом випадкових та кліматичних факторів, зокрема температури, вологості, заморожування–відтавання та агресивності середовища, що підтверджується кліматичними індикаторами Eurostat [3].

У науковій літературі широке застосування набувають ймовірнісні методи аналізу надійності, які дозволяють формалізувати невизначеність та оцінювати поведінку будівельних конструкцій у часі. У працях Madsen, Krenk і Lind [2] обґрунтовано ефективність використання ймовірнісних розподілів для моделювання процесів деградації та надійності. Melchers [4] та Ditlevsen і Madsen [5] показують, що моделі на основі розподілів Вейбулла, експоненціального і нормального дозволяють описувати втомні процеси, корозійне старіння, крихке руйнування та інші стохастичні механізми.

Таким чином, ймовірнісні підходи забезпечують глибше розуміння поведінки конструкцій під змінними навантаженнями та в умовах випадкових впливів, дозволяють оцінювати ризики та прогнозувати довговічність споруд, що є критично важливим для безпеки протягом усього життєвого циклу будівлі.

Мета і завдання дослідження. Метою цієї статті є оптимізація проектування будівельних конструкцій за допомогою ймовірнісних розподілів. Завдання дослідження включають аналіз переваг ймовірнісних моделей, опис ключових ймовірнісних розподілів (нормальний, Вейбулла, експоненціальний) для аналізу конструкцій, моделювання довговічності сталевих і бетонних конструкцій, визначення критеріїв вибору оптимальних матеріалів, оцінка впливу кліматичних факторів на надійність конструкцій.

Матеріали та методи

Для дослідження було використано поєднання відкритих матеріалознавчих даних, результатів експлуатаційних спостережень та чисельного моделювання. Фізико-механічні властивості матеріалів (сталі,

бетону та деревини) отримані з бази **The Materials Project** (<https://materialsproject.org>), що забезпечує достовірні параметри для моделювання [1]. Моделювання деградації конструкцій виконувалося із застосуванням двох ймовірнісних розподілів: **розподілу Вейбулла** для сталевих елементів та **експоненціального розподілу** для бетонних конструкцій, відповідно до загальноприйнятих підходів до аналізу надійності [2]. Обробка даних проводилася мовою **Python** із використанням бібліотек *NumPy*, *Pandas*, *Matplotlib* та *Seaborn*. Для кожної моделі згенеровано згладжені вибірки на інтервалі 0–50 років, що дозволило побудувати криві ймовірності відмови $F(t)$, функції надійності $S(t)$, функції небезпеки $h(t)$ та графіки розподілу експлуатаційних характеристик матеріалів. Кліматичні параметри (температура, вологість, заморожування-відтавання) узгоджені з європейськими відкритими кліматичними індикаторами **Eurostat Climate Indicators** [3]. Отримані чисельні дані використовувалися для візуалізації моделей деградації та порівняння довговічності різних матеріалів у характерних сценаріях експлуатації.

Результати та обговорення

Для аналізу довговічності сталевих конструкцій було застосовано розподіл Вейбулла, що дозволяє моделювати ймовірність відмови залежно від часу експлуатації та рівня навантаження. Побудована крива $F(t)$ для різних режимів навантаження (рис. 1) демонструє характерний нелінійний ріст ймовірності відмови: для низьких навантажень зростання повільне, тоді як для середніх і особливо високих навантажень збільшення ймовірності відмови відбувається значно швидше:

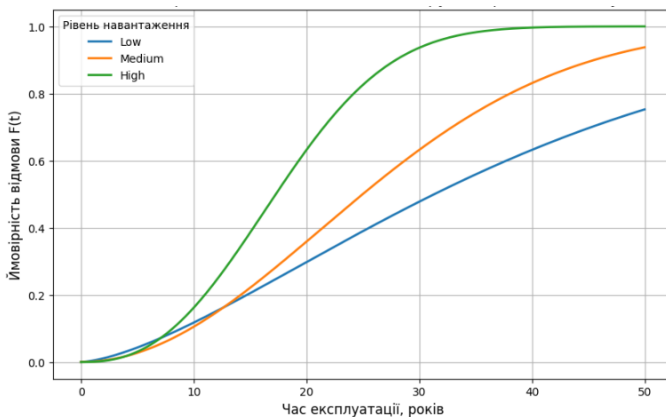


Рис. 1. Ймовірність відмови сталевих конструкцій (розподіл Вейбулла)

Це узгоджується з фізичною природою втомних процесів у металі та підтверджує доцільність застосування Вейбулівських моделей для сталевих елементів, що працюють у режимах тривалого навантаження.

Додатковий аналіз функції небезпеки $h(t)$ (рис. 2) показав, що ризик відмови сталевих конструкцій монотонно зростає з віком конструкції. При високих навантаженнях похідна $h(t)$ набагато крутіша, що свідчить про прискорену втому матеріалу та раннє досягнення граничних станів. У поєднанні з кумулятивною функцією $F(t)$ цей результат підтверджує, що сталь залишається оптимальним матеріалом для високо відповідальних конструкцій, однак потребує ретельного врахування навантажувальних режимів при проектуванні.

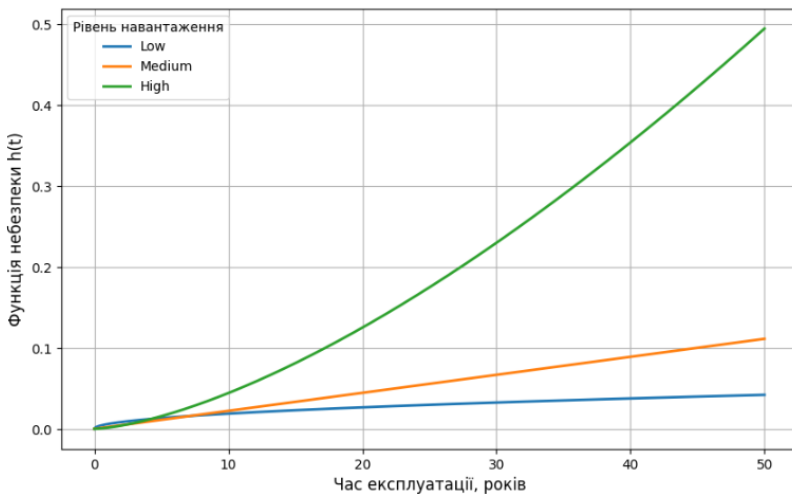


Рис. 2. Функція небезпеки сталевих конструкцій $h(t)$

Моделювання зношування сталевих конструкцій показало, що при підвищених навантаженнях ймовірність відмови зростає значно швидше, порівняно з умовами експлуатації при середньому навантаженні. Цей результат підтверджується побудованим графіком з розподілом Вейбулла (рис. 1), де можна чітко побачити, як ймовірність відмови зростає в залежності від часу та навантаження.

Для бетонних конструкцій було застосовано експоненціальний розподіл для моделювання часу до виникнення тріщин та деформацій. Отримані дані (таблиця 1) показують, що бетонні конструкції мають відносно низький рівень варіації зносу, але їх довговічність сильно залежить від кліматичних умов, зокрема циклів заморожування-розмерзання.

Математична обробка отриманих даних дозволяє виразити результати дослідження за допомогою формули (1), яка описує залежність ймовірності відмови від часу.

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де $P(t)$ – ймовірність відмови до моменту часу t ; λ – інтенсивність відмов.

Таблиця 1. Дані дослідження зносу бетонних конструкцій за різних кліматичних умов

Умови експлуатації	Температура (°C)	Вологість (%)	λ (інтенсивність відмов)	Середній час до тріщиноутворення (роки)
Помірний клімат	+10 ... +25	50 – 70	0.045	22.2
Вологий клімат	+5 ... +20	80 – 90	0.060	16.7
Холодний клімат	-5 ... +15	60 – 80	0.075	13.3

З таблиці 1 видно, що ймовірності відмови $P(t)$ для трьох кліматичних зон демонструють істотно різну швидкість деградації. У помірному кліматі ймовірність відмови зростає повільніше, тоді як у холодному кліматі, де мають місце цикли заморозування-відтавання, інтенсивність деградації є максимальною. Це підтверджується й поведінкою функції надійності $S(t)$ (рис. 3), яка швидше спадає для холодного та вологого клімату:

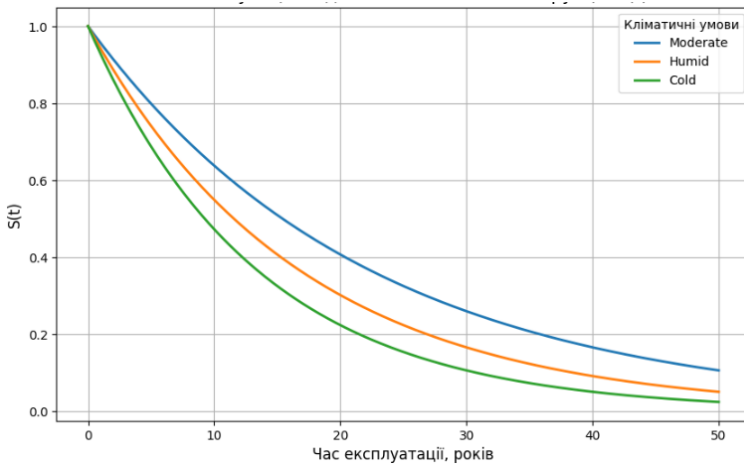


Рис. 3. Функція надійності бетонних конструкцій $S(t)$

Отримані результати узгоджуються з оцінкою параметра λ (таблиця 1), який відображає інтенсивність відмов у різних умовах. Значення $\lambda = 0.075$ для холодного клімату вказує на швидший перехід конструкцій у зношений стан, що пояснюється впливом низьких температур, високої вологості та повторюваних морозних циклів. Таким чином, бетонні конструкції забезпечують задовільні показники довговічності лише у разі відповідного врахування кліматичних впливів, а також застосування заходів щодо підвищення морозостійкості та зниження водонасичення.

Для комплексного порівняння сталевих, бетонних і дерев'яних конструкцій було проведено статистичний аналіз вибірових даних, побудований на основі змодельованої вибірки з параметрами, типовими для будівельних матеріалів. На графіку “термін служби — надійність” чітко видно, що сталь демонструє найвищі значення індексу надійності та середнього терміну служби, тоді як бетон займає проміжне положення, а деревина — нижче. Це підтверджує, що бетон є економічно оптимальним матеріалом для конструкцій середньої відповідальності, тоді як сталь є доцільною для об'єктів з високими навантаженнями та підвищеними вимогами до надійності.

Аналіз щільності розподілу терміну служби показує, що сталеві конструкції мають найвужчий розподіл, що свідчить про їхню стабільність і передбачуваність експлуатаційних характеристик. Бетон характеризується ширшим розподілом через вплив різних технологічних, кліматичних та експлуатаційних факторів. Деревина має ще більшу варіативність порівняно з бетоном, оскільки її властивості визначаються природною неоднорідністю матеріалу, вологісними коливаннями та біологічними чинниками. Саме тому деревина розглядається переважно як матеріал для малонавантажених або другорядних конструкцій, де вимоги до довговічності та надійності нижчі, ніж у випадку бетону та сталі.

Висновки

У роботі продемонстровано ефективність застосування ймовірнісних моделей для оцінки довговічності будівельних конструкцій. Розподіл Вейбулла дав змогу точно описати зношування сталевих елементів і показав, що сталь є оптимальним матеріалом для високонавантажених об'єктів завдяки стійкості до втоми та передбачуваному характеру відмов. Експоненціальний розподіл підтвердив залежність деградації бетонних конструкцій від кліматичних умов, зокрема впливу вологості та температурних циклів. Порівняльний аналіз матеріалів показав, що бетон є економічно доцільним для конструкцій середньої відповідальності, тоді як сталь залишається найнадійнішим варіантом при підвищених навантаженнях. Використання ймовірнісних методів у проєктуванні забезпечує точнішу оцінку ризиків, оптимізує вибір матеріалів і сприяє

підвищенню безпеки та ефективності будівельних конструкцій у різних умовах експлуатації.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту, нові напрямки чи методології, що включають штучний інтелект або машинне навчання для аналізу даних, моделювання або автоматизації процесів.

Reference

1. Jain, A., Ong, S. P., Hautier, G., et al. (2013). *The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation*. APL Materials, 1(1), 011002. DOI:10.1063/1.4812323
2. Madsen, H. O., Krenk, S., & Lind, N. C. (2022). *Introduction to Structural Reliability*. Elsevier.
3. Eurostat. (2023). *Climate change and environmental indicators*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat>
4. Melchers, R. E. (1999). *Structural Reliability Analysis and Prediction*. Wiley. DOI:10.1002/9780470316964
5. Ditlevsen, O., & Madsen, H. O. (2007). *Structural Reliability Methods*. Wiley. ISBN 0 471 96086 1

Література

1. Jain A., Ong S. P., Hautier G. та ін. (2013). *The Materials Project: підхід матеріалознавчого геному для прискорення інновацій у матеріалах*. APL Materials, 1(1), 011002. DOI:10.1063/1.4812323
2. Madsen H. O., Krenk S., Lind N. C. (2022). *Вступ до структурної надійності*. Elsevier.
3. Eurostat. (2023). *Показники зміни клімату та екологічні індикатори*. Режим доступу: <https://ec.europa.eu/eurostat>
4. Melchers R. E. (1999). *Аналіз і прогнозування структурної надійності*. Wiley. DOI:10.1002/9781119266105
5. Ditlevsen O., Madsen H. O. (2007). *Методи аналізу структурної надійності*. Wiley. ISBN 0 471 96086 1

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 15.11.2025	Received 15.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

I. V. Samonenko

Associate Professor, Ph.D, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3366-7894>

Department of Applied mathematics and mechanics

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: i.samonenko@nltu.edu.ua

Optimization of building structure design using probability distributions

How to Cite:

Samonenko, I. V. (2025). Optimization of building structure design using probability distributions.. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 409-416.
[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-35](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-35)

Abstract. The article examines the application of probabilistic models for optimizing the design of building structures under operational uncertainty, a challenge of increasing importance in modern engineering. Unlike traditional deterministic methods, the probabilistic approach enables more realistic predictions of structural degradation by accounting for variable loads, material heterogeneity, environmental fluctuations, and stochastic wear processes. Using open-source materials science datasets and numerical simulations conducted in Python, the study analyzes the behavior of steel, concrete, and partially timber structures through the Weibull distribution and the exponential distribution. The Weibull model proved highly effective for representing fatigue failures in steel elements across different load levels, allowing early assessment of failure risks. The exponential distribution accurately reflected long-term deterioration trends in concrete structures, particularly under temperature extremes and elevated humidity. Additional reliability indicators – including hazard function, reliability function, and probability density of performance characteristics – were employed to evaluate long-term durability and determine optimal material usage boundaries. A comparative analysis of steel, concrete, and timber confirmed that steel remains the most reliable option for heavily loaded and safety-critical structures, while concrete offers a cost-effective solution for medium-load applications, and timber performs adequately only in stable environmental conditions. The findings demonstrate that integrating probabilistic methods into structural design significantly improves prediction accuracy, reduces the likelihood of operational failures, and supports more informed material selection aligned with expected service conditions.

Keywords: probability distributions, structural design, Weibull distribution, optimization, material durability, risk assessment, strength, wear.

УДК 625.7/8

А. В. Сєдов*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7879-6614>

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Бірулі
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,
Харків, Україна, 61002

О. О. Фоменко

асистент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-1706>

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Бірулі
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,
Харків, Україна, 61002

*автор-кореспондент, e-mail: avs.1708@ukr.net

**Дослідження впливу пластифікації та фракціонування
грануляту на властивості матеріалу, виготовленого за
технологією холодного ресайклінгу**

Цитувати як:

Сєдов, А. В., Фоменко, О. О. (2025). Дослідження впливу пластифікації та фракціонування грануляту на властивості матеріалу, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 417-426. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-36](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-36)

© 2025, Сєдов, А. В., Фоменко, О. О.

Традиційно ремонт покриття проводять шляхом вирівнювання покриття асфальтобетонною сумішшю з влаштуванням додаткового шару зносу.

У статті приділено увагу питанням технології холодної регенерації асфальтобетону, яка полягає у подрібненні матеріалу покриття (у деяких випадках із захопленням частини основи) переважно за допомогою холодного фрезерування.

Холодна регенерація асфальтобетонних покриттів вигідно відрізняється від традиційних способів ремонту, насамперед своєю економічністю. Ця технологія дозволяє найбільш ефективно використовувати матеріал старого дорожнього одягу, усувати тріщини у старому покритті на всю або більшу частину глибини, що уповільнює появу тріщин на новому покритті. Крім того, проведення робіт без розігріву матеріалу завдає мінімальної шкоди навколишньому середовищу.

Істотна особливість таких матеріалів – залежність їх властивостей від структури, яка визначається кількістю та якістю зерен асфальтобетонного грануляту, їх взаємним розташуванням та характером зв'язків між ними.

Стосовно сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу, важливий напрямок регулювання процесу їх структуроутворення з метою підвищення щільності є підвищення технологічності суміші в процесі ущільнення за рахунок зниження міцності контактів і поліпшення рухливості гранул. Умовою досягнення найбільш щільної упаковки гранул є досягнення їх найбільшої рухливості на стадії формування структури матеріалу шляхом пластифікації.

У структуроутворенні сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу, важливу роль відіграють кристалізаційні контакти, що утворюються при твердінні цементу, який вводиться разом з водою та утворює цементне тісто або пасту.

В роботі були проаналізовані різні варіанти складів сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу, на основі асфальтобетонного грануляту без додавання та з додаванням цементу в межах від 1,5 % до 6 %. та пластифікатора у кількості 0,02-0,04 % від маси цементу. При додаванні водного розчину пластифікатора міцність фрезерованого матеріалу, майже в 1,5 рази більша, ніж у складах без пластифікатора.

Ключові слова: капітальний ремонт, регенерація, асфальтобетонний гранулят, пластифікація, цемент, міцність

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. При капітальному ремонті автомобільних доріг знаходять поширення методи регенерації та повторного використання матеріалів дорожнього одягу. Регенерація асфальтобетонних покриттів вигідно відрізняється від традиційних способів ремонту насамперед своєю економічністю. Ця технологія дозволяє найбільш ефективно використовувати матеріал, який отриманий після фрезерування старого одягу, усувати тріщини у старому покритті на всю або більшу частину глибини, що уповільнює появу тріщин на новому покритті [1].

Проведений аналіз показав, що з урахуванням основних видів пошкоджень доріг найбільше доцільно використовувати технологію холодної регенерації в установці.

Дана технологія як спосіб ремонту дорожнього одягу має низку очевидних переваг [2]:

- виключена необхідність вивезення матеріалу старого покриття, що видаляється, і доставки свіжої гарячої асфальтобетонної суміші;
- не потрібно складувати віддалений матеріал поблизу ділянки, що ремонтується, що не завжди можливо, особливо в місті;
- не потрібно розігрівати старе покриття до «блакитного серпанку», як це робилося за технологією гарячої термофрезерної регенерації, що важливо як з погляду економії енергії, так і охорони навколишнього середовища;
- витрати бітуму набагато менше, ніж при облаштуванні нового покриття;
- повністю використовується старий кам'яний матеріал (для поліпшення зернового складу суміші до нього може бути доданий новий шебінг) [3, 4].

При фрезеруванні пакету бітумомінеральних шарів в склад асфальтобетонного грануляту потрапляють матеріали різних складів, з

різним ступенем старіння бітуму. Асфальтобетонний гранулят містить зерна крупністю до 40 мм, кількість зерен дрібніша за 0,14 мм зазвичай дуже низька. Асфальтобетонний гранулят може містити в тому чи іншому співвідношенні щебні, оточені розчинною частиною (пісок + асфальтова в'язуча речовина), гранули, гранули з асфальтової речовини і окремі мінеральні зерна, вкриті повністю, частково або не покриті бітумом (рис. 1).

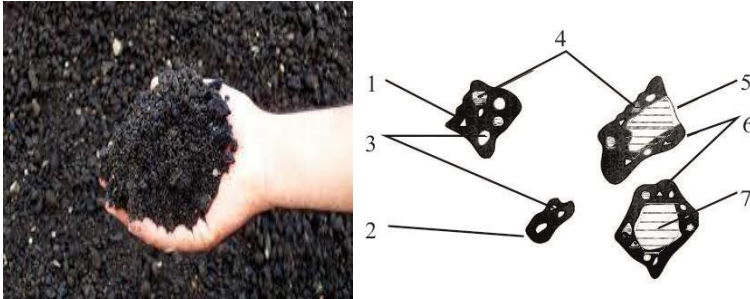


Рис. 1 Схема структури асфальтобетонного грануляту

1 – розчинна гранула; 2 – асфальтове в'язуче; 3 – повітряна пора;
4 – піщинка; 5 – скол щебілки; 6 – щебенева гранула; 7 – щебінка

Істотна особливість таких матеріалів – залежність їх властивостей від структури, яка визначається кількістю та якістю зерен асфальтобетонного грануляту, їх взаємним розташуванням та характером зв'язків між ними.

Стосовно сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу (СХР), важливий напрямок регулювання процесу їх структуроутворення з метою підвищення щільності є підвищення технологічності суміші в процесі ущільнення за рахунок зниження міцності контактів і поліпшення рухливості гранул [5].

Мета і завдання дослідження. Технологія глибокої холодної регенерації дорожнього покриття дозволяє ефективно повторно використовувати матеріали старого дорожнього одягу. Проведення відновлювальних робіт без розігріву старого матеріалу завдає мінімальної шкоди навколишньому середовищу та різко знижує енерговитрати. Таким чином метою роботи є вдосконалення технології холодної регенерації за рахунок покращення властивостей переробленого фрезерованого матеріалу.

Матеріали та методи

Методологічною основою для вирішення поставлених завдань є системний підхід у вивченні шляхів регулювання властивостей матеріалу, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу (МДХР) за рахунок

підбору гранулометричного складу грануляту, пластифікації суміші та кристалізаційних контактів, що утворюються при твердінні цементної пасти, між частинками поряд з коагуляційними зв'язками.

Результати та обговорення

МДХР – це композиційний матеріал, в якому наповнювачем є полізернисті частинки асфальтобетонного грануляту, а матрицею комплексне в'язуче на основі повільнотвердіючого мінерального та органічного в'язучого [6, 7].

В процесі структуроутворення в СХР, формуються два типи мікроструктури коагуляційна та конденсаційно-кристалізаційна. Коагуляційні зв'язки між частинками асфальтобетонного грануляту здійснюються через адсорбційно-сольватні структуровані плівки органічного в'язучого. Конденсаційно-кристалізаційні зв'язки формуються з часом і представлені слабокристалізованими новоутвореннями гідросилікатів кальцію.

Зазначена відмінна здатність міцних конденсаційно-кристалізаційних зв'язків, що утворюються, при твердінні мінерального в'язучого, а також наявність гнучких коагуляційних бітумних зв'язків між зернами асфальтобетонного грануляту і прошарків бітуму серед продуктів гідратації мінерального в'язучого є основними факторами, що визначають водо- та морозостійкість регенованого асфальтобетону на комплексному в'язучому. Що стосується СХР, умовою досягнення найбільш щільної упаковки гранул є досягнення їх найбільшої рухливості на стадії формування структури матеріалу шляхом пластифікації. У структуроутворенні МДХР важливу роль відіграють кристалізаційні контакти, що утворюються при твердінні цементу, який вводиться разом з водою та утворює цементне тісто або пасту (рис. 2). Необхідна кількість цементної пасти залежить від сумарної поверхні грануляту та товщини плівки пасти, яка також залежить від розмірів гранул [5, 8].

Підвищення міцності, МДХР пояснюються утворенням при твердінні мінерального в'язучого гелеподібних гідросилікатів кальцію і наявністю гнучких бітумних зв'язків між зернами асфальтового грануляту.

В роботі були проаналізовані різні варіанти складів СХР на основі асфальтобетонного грануляту без додавання та з додаванням цементу в межах від 1,5 % до 6 %. та пластифікатора у кількості 0,02-0,04 % від маси цементу.

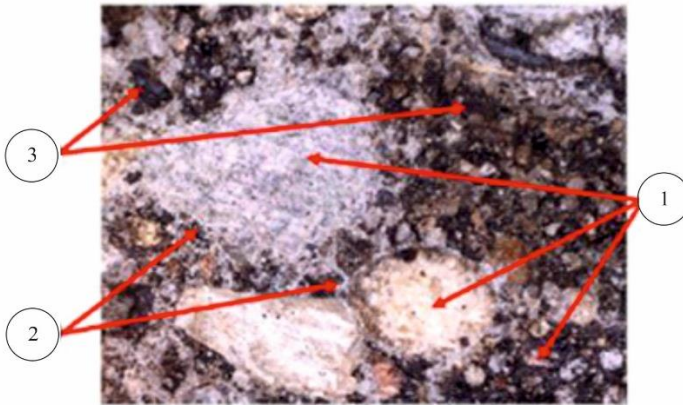


Рис. 2. Структура МДХР з цементом:
 1 – зерно розміром дрібніше 5 мм; 2 – прошарок цементного каменю;
 3 – прошарок бітуму

Особливістю застосування асфальтобетонного грануляту є можливість використання цього матеріалу у фракціонованому або нефракціонованому вигляді. Розглядалися суміші з грануляту розміром 0-40 мм, який отриманий після фрезерування без дроблення та фракціонування і грануляту розміром 0-20 мм, який отриманий, після дроблення, розсіву та змішування фракцій, (рис. 3) [5, 9].

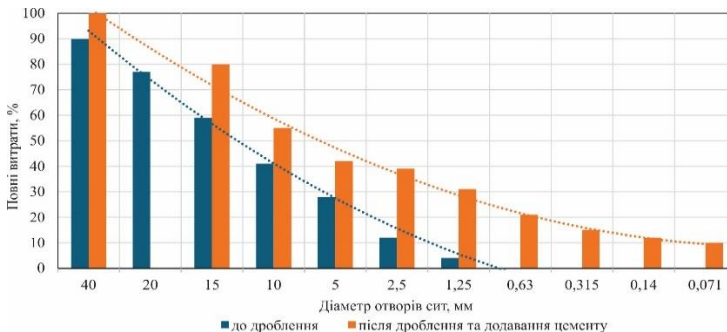


Рис 3 Гранулометричний склад асфальтобетонного грануляту

Результати визначення основних показників властивостей МДХР з неподрібненого та подрібненого грануляту у віці 7 діб та 28 діб наведено на рис. 4, 5 [9].

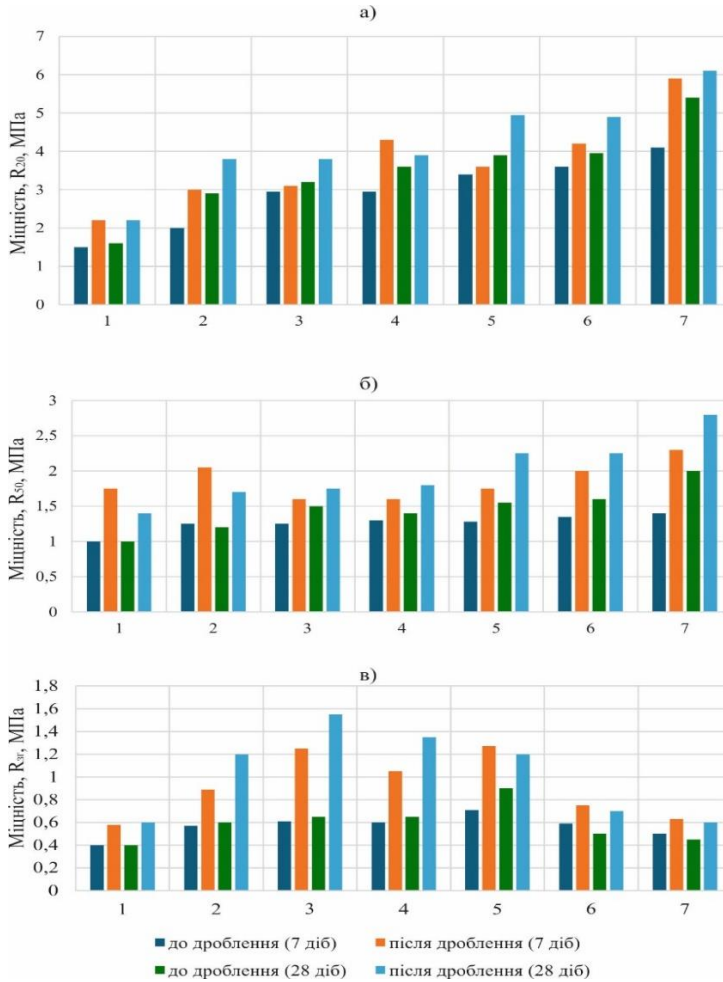


Рис. 4. Показники міцності МДХР:

а, б – міцність на стиск; в – міцність при згинанні;

- 1 – гранулят, 2 – гранулят + цемент 1,5 % + вода 0,75 %; 3 – гранулят + цемент 1,5 % + вода 0,75 % + пластифікатор 0,02 %; 4 – гранулят + цемент 3,0 % + вода 3,0 %; 5 – гранулят + 3,0 % + вода 1,5 % + пластифікатор 0,04 %; 6 – гранулят + цемент 4,5 % + вода 2,2 %; 7 – гранулят + цемент 6,0 % + вода 3,0 %

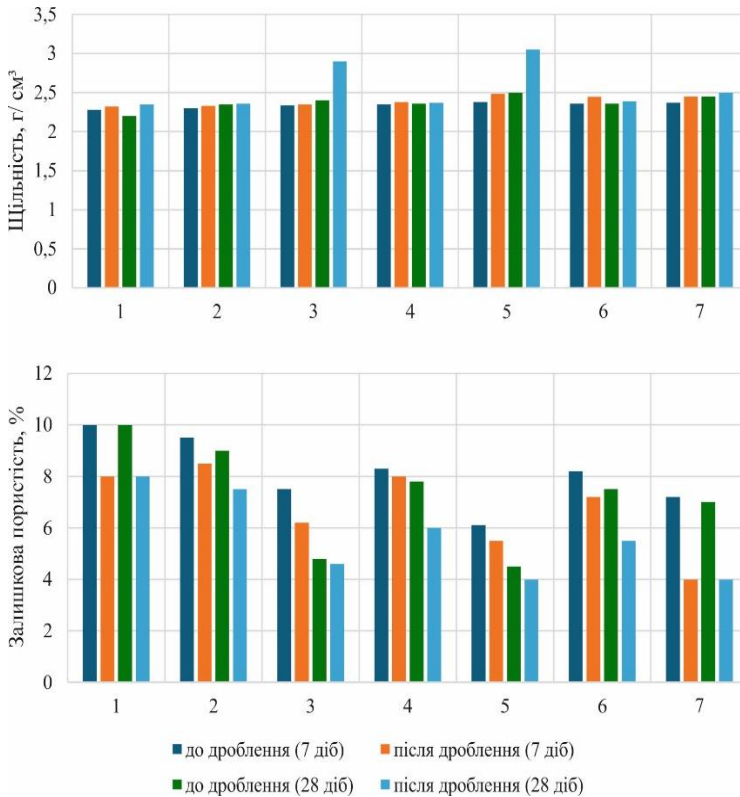


Рис. 5 Показники щільності і залишкової пористості МДХР
1 – гранулят, 2 – гранулят +цемент 1,5 % +вода 0,75 %; 3 – гранулят +цемент 1,5 %
+вода 0,75 % +пластифікатор 0,02 %; 4 – гранулят +цемент 3,0 % +вода 3,0 %; 5 –
гранулят + 3,0 % +вода 1,5 % +пластифікатор 0,04 %; 6 – гранулят +цемент 4,5 %
+вода 2,2 %; 7 – гранулят +цемент 6,0 % +вода 3,0 %

Висновки

Дослідження показали, що МДХР у віці 7 днів та 28 днів з використанням фракціонованого грануляту 0-20 мм має міцність при різних температурах вище, ніж МДХР з гранулятом від 0 мм до 40 мм без дроблення та сортування.

При додаванні водного розчину пластифікатора міцність МДХР майже в 1,5 рази більша, ніж у складах без пластифікатора.

При близьких значеннях властивостей досліджуваних складів МДХР найбільшу міцність при 50 °С, що характеризує його стійкість до зсуву, показали зразки з додаванням цементу і пластифікатора. Застосування МДХР із подрібненого грануляту з додаванням від 1,5 % до 3 % цементу та

пластифікатора, за своїми показниками забезпечує, а за показниками міцності перевищує вимоги до гарячих крупнозернистих щільних асфальтобетонів.

Зі збільшенням кількості цементу з 1,5 % до 6 % міцність МДХР зростає в 1,5-2 рази за температури від 20 °С до 50 °С. Причому у зразках з фракціонованим гранулятом приріст міцності помітно вищий, ніж у зразках із недробленим гранулятом. За рахунок введення пластифікатора зразки показали велику міцність при меншому вмісті цементу.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Tereshchenko T.A. Aspects of successful implementation of industrial hot recycling of road asphalt concrete. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/ ilovepdf_com-5-13.pdf (access date: 15.09.2025).
2. TTR 42.1-37641918-418:2017 Typical technological regulations for the production of bituminous mixtures using asphalt concrete crumb
3. Tereshchenko, T.A. Ways of development of technologies for hot recycling of road asphalt concrete [Text] / T.A. Tereshchenko // Ukrainian Highway. – 2014. - No. 2 – P. 42-48. – Bibliography: p. 48
4. World Road Association. Technical Committee C7/8 “Road Surfaces”. Recycling of road surfaces. Part 3. Manual for hot recycling of asphalt concrete from old pavements at the plant / Translated from Russian by V. Zhdanyuk. Under the general editorship of V. Zhdanyuk and D. Sybilsky. – Kh.: Publishing House of KhNADU, 2006. – 52 p.
5. Tereshchenko, T.A. Calculation of the grain composition of the mineral part of regenerated asphalt concrete mixtures when using unfractionated asphalt concrete granulate [Text] / T.A. Tereshchenko // Collection of scientific works "Roads and Bridges". – 2015. – Issue 15. - P. 59 – 65. – Bibliography: p. 65
6. R B.2.7-37641918-887:2017 Recommendations for the selection of the composition and application of bituminous mixtures using asphalt concrete crumb
7. Kandhal, P. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments [Electronic resource] // P. Kandhal, R. Mallick. US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. - Publ. No. FHWA-SA-98-042. - 1997 – Access mode: <http://www.fhwa.dot.gov> – Title from the screen

8. Zhdanyuk V. Recycling of road clothing/V. Zhdanyuk, D. Sybilsky //Avtoшlyahovyk Ukrainy. – 2006. – No. 4. – P. 32–35.

9. Ilchenko V.V., Nesterenko O.V., Horobiy S.S. Prospects for the use of cold mixtures based on asphalt fines for road construction in rural areas. URL: https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/5172/1/Znpgmb_2009_2_24%2039.pdf (access date: 15.10.2025).

Література

1. Терещенко Т.А. Аспекти успішного впровадження промислового гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/ilovepdf_com-5-13.pdf (дата звернення: 15.09.2025).

2. ТТР 42.1-37641918-418:2017 Типовий технологічний регламент на виготовлення бітумінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти.

3. Терещенко, Т.А. Шляхи розвитку технологій гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону [Текст] / Т.А. Терещенко // Автошляховик України. – 2014. - № 2 – С. 42-48. – Бібліогр.: с. 48.

4. Всесвітня дорожня асоціація. Технічний комітет С7/8 «Дорожні покриття». Рециркування дорожніх одягів. Частина 3. Посібник з гарячого рециркування асфальтобетону зі старих покриттів на заводі / Пер. з рос. В. Жданюка. Під заг. ред. В. Жданюка і Д. Сибільського. – Х.: Вид-во ХНАДУ, 2006. – 52 с.

5. Терещенко, Т.А. Розрахунок зернового складу мінеральної частини регенованих асфальтобетонних сумішей при використанні нефракціонованого асфальтобетонного грануляту [Текст] / Т.А. Терещенко // Збірник наукових праць «Дороги і мости». – 2015. – Вип. 15. - С. 59 – 65. – Бібліогр.: с. 65.

6. Р В.2.7-37641918-887:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти.

7. Kandhal, P. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments [Електронний ресурс] // P. Kandhal, R. Mallick. US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. - Publ. № FHWA-SA-98-042. - 1997 – Режим доступу: <http://www.fhwa.dot.gov> – Заголовок з екрану.

8. Жданюк В. Рециркування дорожніх одягів/В. Жданюк, Д. Сибільський //Автошляховик України. – 2006. – №4. – С. 32–35.

9. Ільченко В.В., Нестеренко О.В., Горобій С.С. Перспективи використання холодних сумішей на основі асфальтового дрібняку для будівництва доріг у сільській місцевості. URL: https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/5172/1/Znpgmb_2009_2_24%2039.pdf (дата звернення: 15.10.2025).

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.11.2025	Received in revised form 19.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A. V. Siedov*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7879-6614>
Department Construction and operation of highways named after O.K. Birulya
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslav Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

O. O. Fomenko

assistant, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-1706>
Department Construction and operation of highways named after O.K. Birulya

Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslav Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

*corresponding author, e-mail: avs.1708@ukr.net

Research on the influence of plasticization and fractionation of granulate on the properties of the material produced by cold recycling technology

How to Cite:

Siedov, A. V., Fomenko, O. O. (2025). Research on the influence of plasticization and fractionation of granulate on the properties of the material produced by cold recycling technology. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 417-426. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-36](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-36)

Abstract. Traditionally, pavement repair is carried out by leveling the pavement with an asphalt concrete mixture and installing an additional wear layer.

The article focuses on the issues of the technology of cold regeneration of asphalt concrete, which consists in grinding the coating material (in some cases with the capture of part of the base) mainly by cold milling.

Cold regeneration of asphalt concrete pavements differs favorably from traditional repair methods, primarily in its cost-effectiveness. This technology allows the most effective use of the material of the old road surface, eliminating cracks in the old coating to the full or most of the depth, which slows down the appearance of cracks in the new coating. In addition, carrying out work without heating the material causes minimal damage to the environment.

An essential feature of such materials is the dependence of their properties on the structure, which is determined by the number and quality of asphalt concrete granulate grains, their mutual arrangement and the nature of the connections between them.

Regarding mixtures made using cold recycling technology, an important direction of regulating the process of their structure formation in order to increase density is to increase the processability of the mixture in the compaction process by reducing the strength of contacts and improving the mobility of granules. The condition for achieving the most dense packing of granules is to achieve their greatest mobility at the stage of forming the structure of the material by plasticization.

In the structure formation of mixtures made using cold recycling technology, an important role is played by crystallization contacts formed during the hardening of cement, which is introduced together with water and forms a cement dough or paste.

The work analyzed various options for the compositions of mixtures made using cold recycling technology, based on asphalt concrete granulate without addition and with the addition of cement in the range from 1.5% to 6%. and plasticizer in an amount of 0.02-0.04% of the mass of cement. When adding an aqueous solution of plasticizer, the strength of the milled material is almost 1.5 times greater than in compositions without plasticizer.

Keywords: capital repairs, regeneration, asphalt concrete granulate, plasticization, cement, strength

УДК 691.167

Ю. В. Сідун*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3606-6899>

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12,,Львів, Україна, 79013

В.М. Гунька

д.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Кафедра хімічної технології переробки нафти та газу

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12,,Львів, Україна, 79013

Д.О. Куліков

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12,,Львів, Україна, 79013

Н.Р. Тецишин

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12,,Львів, Україна, 79013

М. М. Кальмук

студент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3582-2539>

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013

*автор-кореспондент, e-mail: yurii.v.sidun@lpnu.ua

Вплив компаундування бітумних в'язучих на властивості литих емульсійно-мінеральних сумішей

Цитувати як:

Сідун, Ю. В., Гунька, В.М., Куліков, Д.О., Тецишин, Н.Р., Кальмук, М. М. (2025). Вплив компаундування бітумних в'язучих на властивості литих емульсійно-мінеральних сумішей. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 427-439. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-37](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-37)

© 2025, Ю. В. Сідун, В.М. Гунька, Д.О. Куліков, Н.Р. Тецишин, М. М. Кальмук

Розглянута можливість використання компаундованих бітумних в'язучих для виготовлення катіонних бітумних емульсій, як компонента в литих емульсійно-мінеральних сумішах. Компаундування проводили шляхом змішування взятого за базовий бітум 70/100 компанії PKN Orlen виготовленого із легкої нафти з дистильційними бітумами марок 70/100 та 100/150 компанії Nynas (Швеція), виготовлених із важкої нафти. Також базовий бітум змішували із попередньо підготовленим кислим гудроном (с. Грибовичі, Львівська область). В роботі дослідили властивості кислого гудрону і основні фізико-механічні властивості компаундованих в'язучих і їх кислотні числа. Для виготовлення катіонних бітумних емульсій використали компаундовані та не компаундовані в'язучі для порівняння. Також у склад бітумної емульсії включали катіоактивний емульгатор (на основі амінів), соляну кислоту та питну воду. Емульсію виготовляли за допомогою лабораторної бітумно-емульсійної установки по типу колоїдного млина. Литі емульсійно-мінеральні суміші виготовляли на основі емульсійних в'язучих, питної

води, портландцементу марки ПЦ II/A-Ш-400 та регулятору розпаду у вигляді 10% мас. розчину емульгатора (що був використаний для виготовлення катіонних бітумних емульсій). Литі емульсійно-мінеральні суміші випробували за показниками розпаду суміші, втрати матеріалу під час вологого абразивного зносу та показниками когезійної міцності, а саме: початок набору когезійної міцності, експрес показник формування суміші та характерів руйнування NS та SS (що дозволяють встановити відкриття руху транспорту з обмеженнями і без обмежень відповідно). В роботі доведено, що ефективними варіантами компаундування є співвідношення дистиляційного бітуму з важкої нафти до бітуму з легкої нафти у пропорції 50 % мас. на 50 % мас. та додавання до бітуму з легкої нафти 10-15 % мас. кислого гудрону.

Ключові слова: коумпандування, легка та важка нафти, кислий гудрон, бітумні емульсії, цемент, литі емульсійно-мінеральні суміші.

Вступ

Бітумне в'язуче (бітумний в'язівник) – це клейкий матеріал, що містить бітум. Згідно з ДСТУ EN 12597:2018 [1] бітумне в'язуче може бути в наступних формах: немодифіковане, модифіковане, окиснене, компаундоване, розріджене, емульговане. Проте в ДСТУ EN 12597:2018 [1] так і в інших стандартах ДСТУ EN, щодо дорожніх бітумів не дають визначення, що таке компаундуванні бітуми. У вітчизняному ДСТУ 4044 [2] вказано, що сфера застосування стандарту поширюється на бітуми нафтові дорожні в'язкі, які виготовляють окисненням залишків атмосферно-вакуумної перегонки нафти та селективного розділення нафтопродуктів (асфальтів деасфальтизації, екстрактів селективної очистки), а також компаундуванням високов'язких окиснених та неокиснених продуктів або прямою перегонкою нафти. На практиці в Україні сьогодні масово застосовують бітуми із компанії PKN Orlen, що постачають із Польщі та Литви. Також на ринку присутній і вітчизняний бітум від ПАТ «Укртатнафта» (Кременчуцький НПЗ). Ці бітуми отримують окисненням нафтових залишків. Загалом відомо два основні процеси окиснення гудронів з метою одержання бітумів [3-6]: легке окиснення – ректифікації із продуванням повітря; жорстке окиснення – окиснення бітуму у реакторі. Відповідно виготовлення дорожніх бітумів на заводах PKN Orlen проводять за легкого окиснення, а на Кременчуцькому НПЗ за жорсткого. При чому в обох випадках сировинною нафтою є легка. Відомо, що оптимальними бітумами для литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) є ті, що виготовлені із важкої нафти методом дистиляції (так звані дистиляційні (залишкові) бітуми). Основним виробником таких бітумів (їх ще називають нафтеновими) у світі є шведська компанія Nynas.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. В основному в Україні досліджували окиснені та залишкові бітуми окремо, в деяких працях із порівнянням їх властивостей [7-10]. А щодо компаундування цих

бітумів між собою досліджень є обмежена кількість [11]. Загалом частіше проводять компаундування бітумів із іншими нафтовими залишками (мазутом, гудроном) [12-15], але таке поєднання не застосовують безпосередньо для ЛЕМС. Перспективним з екологічної точки зору є утилізація так званого кислого гудрону [16-17], шляхом його компаундування із бітумами і подальше їх використання для виготовлення бітумних емульсій, зокрема і для ЛЕМС [18]. Кислі гудрони є рідкими, в'язкими або твердими продуктами темного, майже чорного забарвлення, характерною особливістю яких є запах діоксиду сірки. У їх складі присутні залишки непрореагованої сірчаної кислоти, продукти взаємодії кислоти з вуглеводнями, а також з кисневмісними, сірковмісними та азотовмісними компонентами нафти, що не розчиняються у нафтових фракціях. Крім того, кислі гудрони містять воду та захоплені нафтові продукти. Склад і фізико-хімічні властивості кислих гудронів суттєво змінюються залежно від типу технологічної установки навіть у межах одного підприємства. Ставкові кислі гудрони, як правило, являють собою суміш відходів різного походження, що зумовлює значну різноманітність їх складу. Навіть у межах одного накопичувального ставка властивості гудронів можуть відрізнятися залежно від глибини відбору проби. Такі відмінності зумовлені перебігом окисних процесів, реакцій полімеризації або більш глибокими структурними перетвореннями смолистих компонентів, що входять до складу кислого гудрону. Фізико-хімічні характеристики цих матеріалів визначаються видом нафтової сировини, що піддається очищенню та сульфуюванню, природою сульфуючого агента, а також умовами проведення процесу, зокрема температурою, співвідношенням реагентів, тривалістю контакту та інтенсивністю перемішування. На відміну від більшості нафтопродуктів, кислі гудрони є хімічно активною системою. Під час зберігання в них самочинно відбуваються окисно-відновні реакції, які супроводжуються ущільненням органічної фази, виділенням діоксиду сірки та зміною фізико-хімічних властивостей. У результаті таких процесів відбувається зростання молекулярної маси органічних компонентів, утворення нерозчинних твердих сполук, зменшення кількості вільної сірчаної кислоти та збільшення вмісту води. З часом кислі гудрони характеризуються підвищенням в'язкості та зниженням розчинності як у воді, так і в нафтових продуктах. Інтенсивність цих змін істотно зростає зі збільшенням температури. Зазначені особливості необхідно враховувати під час зберігання, транспортування та утилізації кислих гудронів. Кислі гудрони можуть витримувати тривале нагрівання за температури до 40 °C протягом кількох діб, короткочасне нагрівання до 60 °C та нетривалий вплив температур 70–80 °C. Подальше підвищення температури призводить до інтенсифікації окисно-відновних процесів, унаслідок чого органічна частина матеріалу за відносно короткий час переходить у твердий стан. [16-19].

Метою роботи було дослідження впливу командування різних типів в'язучих на властивості ЛЕМС.

Матеріали та методи

Впродовж 35 років Львівський дослідний нафтомаслозавод виготовляв трансформаторні оливи методом сірчаноокислотної очистки нафтових дистилатів. В результаті очистки одержували побічний продукт – кислий гудрон, який зберігали у ставках накопичувачах біля села Грибовичі (Львівська область). В 1990 році таке виробництво припинилось, але до сьогодні повної утилізації речовини в ставках так і не відбулось. За роки зберігання у ставках утворилось три шари кислої речовини. Верхній – водний шар у вигляді кислої води; середній – кислий гудрон (КГ), який являє собою суміш сульфокислот і непрореагованого нафтового дистилату; нижній – шар дуже твердого кислого гудрону. Орієнтовна кількість КГ у ставках накопичувачах становить – 300 тис. тонн, кислої води – 10 тис. м³. Для компаундування з бітумом 70/100 PKN Orlen (Плоцьк, Польща) було обрано КГ із середнього шару. КГ перед компаундуванням з бітумом сушили за температури 105 °С до постійної маси, після чого фільтруванням за цієї ж температури відділяли механічні домішки. Внаслідок чого робоча вологість КГ склала 42,6 % мас., а вміст механічних домішок 6,7 % мас.

Таблиця 1 Властивості КГ після просушування і видалення механічних домішок

Показники	Значення	Метод випробувань за
Густина при 20 °С, кг/м ³	968	ДСТУ EN ISO 3675:2012 [22]
Зольність, % мас.	0,12	ДСТУ EN ISO 6245:2012 [23]
Вміст води, % мас.	0,78	ДСТУ EN ISO 9029:2022[24]
Вміст сірки, % мас.	3,72	ДСТУ EN ISO 8754:2022 [25]
Температура застигання, °С	33	ДСТУ EN ISO 3016:2022 [26]
В'язкість по віскозиметру з отвором 5 мм за 100 °С, сСт	96,5	ДСТУ EN ISO 3104:2022 [27]
Теплота згоряння, кДж/кг	38545	ДСТУ ISO 1928:2006 [28]
Кислотне число, мг КОН/г	74,7	ASTM D 664-01 [22]

Властивості КГ подано у табл. 1, а три основні фізико-механічні властивості (за ДСТУ 4044 [20]) компаундованих в'язучих у табл. 2 разом із кислотним числом визначеним за ASTM D 664-01[21].

Для коумпандування бітумів між собою також використали бітум 70/100 компанії PKN Orlen виготовлений із легкої нафти та дистиляційний бітум 70/100 компанії Nynas (Швеція) виготовлений із важкої нафти. Коумпандування бітумів між собою і КГ здійснювалося за допомогою механічної мішалки з частотою 400 об/хв протягом 1 год за температури 140°C.

Аналіз табл. 2 вказує, на те що коумпандування низько кислотного бітуму 70/100 PKN Orlen із високо кислотним Nynas марок 70/100, 100/150 та із КГ дає можливість збільшити кислотне число і змінити фізико-механічні властивості вихідного бітуму.

Таблиця 2 Основні властивості досліджуваних в'язучих

Органічні в'язучі, % мас.				Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	Температура розм'якшення, °С	Дуктильність за температури 25 °С, см	Кислотне число, мг КОН/г
70/100 PKN Orlen	Nynas 70/100	Nynas 100/150	КГ				
100	-	-	-	71	45,2	>150	0,2
-	100	-	-	75	45,0		3,6
-	-	100	-	107	43,0		3,6
50	50	-	-	73	45,0		2,1
50	-	50	-	118	42,0		2,2
100	-	-	5	80	43,6		1,9
100	-	-	10	103	42,0		3,9
100	-	-	15	115	41,0		5,5

Результати та обговорення

Для виготовлення катіонних бітумних емульсій для ЛЕМС використали всі в'язучі наведені в табл. 2, катіонну поверхнево-активну речовину амінного типу, хлороводневу (соляну) кислоту та водопровідну воду. Емульсійне в'язуче готували на лабораторній бітумно-емульсійній установці(типу колоїдного млина).

Таблиця 3 Склади бітумних емульсій

Компоненти емульсій, % мас.			
бітум	емульгатор	HCl у водній фазі до pH	вода
61,0	1,1	2,5	до 100

ЛЕМС проектували та випробовували [29-32]. Для проектування ЛЕМС взяли гранітну щебенево-піщану суміш (ЩПС), характеристики якої наведені в [33]. Іншими складниками ЛЕМС були: питна вода, портландцемент марки ПЦ II/A-Ш-400 за ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [33] та регулятор розпаду ЛЕМС у вигляді 10% розчину емульгатора (ЕМ) [35]. Оптимальні склади за критерієм розпаду проектували за сталого значення ЩПС на рівні 100 частин, бітумної емульсії 14 частин, змінюючи значення в першу чергу регулятора розпаду, далі цементу і води для досягнення розпаду суміші не менше 120 с (табл. 4).. Темп наростання когезійної міцності ЛЕМС визначали за запропонованими показниками в [32]: розпад суміші (Р), початок набору когезійної міцності (ПКМ), експрес показник формування суміші (ФС) та характером руйнування. Розпад ЛЕМС визначає час, протягом якого суміш повинна бути виготовлена і укладена. За допомогою показника ПКМ дізнаємось коли саме починається формування і твердіння ЛЕМС. За відсутності несприятливих природних чи механічних чинників під час усього періоду формування шару з ЛЕМС, чим швидше настає ПКМ, тим швидше суміш затвердіє для відкриття руху транспортних засобів. Якщо це відбудеться повільно виготовленій ЛЕМС буде властива низька швидкість набору когезійної міцності. ФС дає можливість швидко оцінити чи підібраний склад за критерієм розпаду буде оптимальним за критерієм швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС. Визначення ФС полягає у виготовленні кулі із ЛЕМС після розпаду суміші та випробуванні її шляхом кидку з висоти 1,5 метра три рази на підлогу вимощеною керамічною плиткою та застеленою картоном. У разі руйнування кулі після проведення випробування або за наявності на її поверхні більше однієї тріщини запроєктований склад ЛЕМС вважається попередньо непридатним з точки зору перебігу процесу формування. Придатність та не придатність виготовленої ЛЕМС позначається знаками «+» та «-» відповідно. Також проводили випробування на втрати матеріалу під час вологого абразивного зносу (ВМВЗ), який дає змогу визначити ступінь адгезії бітумного в'язучого до поверхні кам'яного матеріалу та встановити мінімально необхідний вміст бітуму в суміші і загалом вказує на довговічність шару зносу з ЛЕМС. Експеримент проводили при 20 °C та 50 % відносної вологості повітря. Дослідження наведені в табл.4 вказують на те що, компаундування бітуму 70/100 PKN Orlen із 70/100 Nynas або 100/150 Nynas у співвідношеннях 50 на 50 % мас. призводить до поліпшення

показників когезійної міцності ЛЕМС та ВМВЗ у однаковій мірі. Таке компаундування є ефективнішим чим додавання в бітум 70/100 PKN Orlen від 5 до 15 % мас. КГ. Проте, використання КГ у кількості 10-15 % мас також є доцільним, оскільки вдається збільшити час відкриття руху транспорту у більше ніж вдвічі за таких дозувань. А використання КГ на рівні 15 % мас демонструє найменші ВМВЗ серед компаундованих в'язучих.

Таблиця 4 Склади та показники швидкості набору когезійної міцності та ВМВЗ ЛЕМС

Бітум		Вміст, % мас.			Р, (≥ 120), с	Когезійна міцність				ВМВЗ, г/м ²	
		ЕМ	Цемент	Вода		ПКМ., с	ФС, (+/-)	Характер руйнування. год:хв			
								NS	SS		
PKN Orlen 70/100		0,4	1,0	9,0	135	255	-	4:00	6:00	486	
Nynas	70/100	1,0	1,0	10,0	125	140	+	0:20	0:30	41	
	100/150	1,0	1,0	10,0	123	139				52	
50 % мас. 70/100 PKN Orlen + 50 % мас. 70/100 Nynas		0,7	1,0	10	130	180		0:45	1:50		223
50 % мас 70/100 PKN Orlen + 50 % мас. 100/150 Nynas		0,7	1,0	10	127	172					
70/100 PKN Orlen +% мас. КГ	5,0	-	0,5	10,0	121	181	-	3:00	5:00	301	
	10,0	-	0,5	10,0	122	151	+	1:50	3:00	240	
	15,0	-	0,7	10,0	123	155	+			103	

Висновки

Встановлено, що збільшення вмісту дистиляційного бітуму з важкої нафти та кислого гудрону у складі в'язучого позитивно впливає на показники ЛЕМС. Найвища когезійна міцність ЛЕМС спостерігалася у компаундованих в'язучих, де вміст дистиляційного бітуму був 50 % мас. від загального вмісту в'язучого, що свідчить про швидке формування структури покритву. Показник вологого абразивного зносу також знижувався зі збільшенням частки кислого гудрону та за використання в

компаунді дистиляційного бітуму, що підтверджує підвищення зносостійкості та стійкості до дії води таких ЛЕМС.

В результаті дослідження підтверджено ефективність застосування компаундування різних типів бітумів для підвищення характеристик ЛЕМС. Ефективними дослідженими варіантами компаундування є співвідношення дистиляційного бітуму з важкої нафти до бітуму з легкої нафти у пропорції 50 %мас. на 50 % мас. та додавання до бітуму з легкої нафти 10-15 % мас. кислого гудрону.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Подяка. Дана робота виконана в рамках реалізації проєкту «Інноваційні комплексні підходи для відновлення транспортних споруд» від Національного фонду досліджень України (грант № 2023.05/0026).

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

- 1.DSTU EN 12597:2018. Bitumen and bituminous binders. Vocabulary of terms (EN 12597:2014, IDT).
- 2.DSTU 4044:2019. Road petroleum bitumens. Technical specifications.
- 3.Asphalt Institute & Eurobitume. (2015). The bitumen industry – a global perspective: production, chemistry, use, specification, and occupational exposure (3rd ed.).
- 4.Błażejowski, K., & Wójcik-Wisniewska, M. (2017). Bitumen Handbook. Poland: ORLEN Asfalt. <https://asfalt.orlen.pl>
- 5.Revuelta, M. B. (2021). Construction Materials: Geology, Production and Applications. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65207-4>
- 6.Gunka, V. M. (2024). Fundamentals of chemical modification technologies for petroleum residues and bitumens (Doctoral dissertation, National University “Lviv Polytechnic”). 451 p. <https://uacademic.info>
- 7.Zolotaryov, V. O., Pyrih, Y. I., Halkin, A. V., & Kudryavtseva-Valdes, S. V. (2010). Comparative study of properties of oxidized and residual bitumens. *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*, 4, 32–37.
- 8.Grynshyn, O., Donchenko, M., Khlibyshyn, Y., & Poliak, O. (2021). Investigation of petroleum bitumen resistance to aging. *Chemistry & Chemical Technology*, 15, 438–442. <https://doi.org/10.23939/chcht15.03.438>
- 9.Kopynets, I. V. (2021). Improving the durability of asphalt concrete pavement by reducing technological aging of bitumens (Candidate dissertation, National Transport University). 188 p. https://uacademic.info/download/file/0421U102035/Kopynets_dis.pdf

10. Malyar, V. V., & Povzun, O. I. (2025). Group composition of bitumens as a basis for their temperature properties. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 108, 244–244. <https://dspace.khadi.kharkov.ua>
11. Kishchynskyi, S. V., & Kopynets, I. V. (2015). Increasing the resistance of oxidized bitumens to aging by compounding with distillation bitumens. *Avtoshlyakhovyk Ukrayiny*, 5, 50–52. <http://diser.ntu.edu.ua/>
12. Teltayev, B., Radovskiy, B., Seilkhanov, T., Oliviero, C., & Amirbayev, E. (2022). Low and high temperature characteristics of compounded and modified bitumens. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 648, 129308. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129308>
13. Teltayev, B., Seilkhanov, T., Oliviero Rossi, C., Amirbayev, Y., & Begaliyeva, S. (2021). Low temperature resistance increase for bitumen by compounding with tar. *Applied Sciences*, 11(18), 8579. <https://doi.org/10.3390/app11188579>
14. Khlibyshyn, Y. Y., Grynyshyn, O. B., & Pochapska, I. Y. (2025). Feasibility of producing bitumen from different types of tar. *Issues of Chemistry & Chemical Technology*, 2, 134–143. <https://udhtu.edu.ua/>
15. Evdokimova, N. G., Makhmutova, A. R., Aliyeva, N., & Guseinova, E. A. (2022). Production of thermostable road bitumens by the method of "oxidation-compounding." *Azerbaijan Chemical Journal*, 102–108. <https://akj.az/>
16. Lviv, O. M. (2007). Investigation of the possibility of using acidic tars in road construction. *Bulletin of National University "Lviv Polytechnic", Theory and Practice of Construction*, 602, 135–138.
17. Fryder, I. V., Topilnytskyi, P. I., & Grynyshyn, O. B. (2013). Use of acidic tars in petroleum bitumen production. *Bulletin of Lviv Polytechnic University*, 761, 452–457. <https://science.lpnu.ua/uk/node/4547>
18. Topilnytskyi, P. I., Pryvarska, M. I., Romanchuk, V. V., & Didun, Ye. O. (2015). Problems of utilization of pond acidic tars. *Environmental Protection. Energy Saving. Balanced Nature Management: Proceedings of the 2nd International Congress*, 66.
19. Voloshyn, P. (2016). Analysis of the impact of Lviv landfill on the natural environment. *Bulletin of Lviv University, Geological Series*, 26, 139–147. http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_geol_2012_26_13
20. DSTU 4044:2019. Road petroleum bitumens. Technical specifications.
21. ASTM D664. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration.
22. DSTU EN ISO 3675:2012. Crude oil and liquid petroleum products – Laboratory method for density determination using a hydrometer (EN ISO 3675:1998, IDT).
23. DSTU EN ISO 6245:2012. Petroleum products – Determination of ash (EN ISO 6245:2002, IDT).
24. DSTU EN ISO 9029:2022. Crude oil – Determination of water – Distillation method (EN ISO 9029:1995, IDT; ISO 9029:1990, IDT).
25. DSTU EN ISO 8754:2022. Petroleum products – Determination of sulfur content – Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EN ISO 8754:2003, IDT; ISO 8754:2003, IDT).
26. DSTU EN ISO 3016:2022. Crude oil and related products – Determination of pour point (EN ISO 3016:2019, IDT; ISO 3016:2019, IDT).
27. DSTU EN ISO 3104:2022. Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity (EN ISO 3104:2020, IDT; ISO 3104:2020, IDT).

28. DSTU ISO 1928:2006. Solid mineral fuels – Determination of gross calorific value by bomb calorimeter and calculation of net calorific value (ISO 1928:1995, IDT).
29. ISSA A105. Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal. Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD (Revised May 2010).
30. ISSA A143. Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing. Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD (Revised February 2010).
31. ISSA Technical Bulletin 113. Test Method for Determining Mix Time for Slurry Surfacing Systems. International Slurry Surfacing Association, Revised 2021.
32. Sidun, Y. V. (2017). Increasing the rate of cohesion strength development of cold cast emulsion-mineral mixtures (Candidate dissertation, National University “Lviv Polytechnic”). 172 p. <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/6c924642-2648-4a4a-b236-46bee2fb00c5/content>
33. Sidun, Y. V., Hunka, V. M., Poliak, O. Y., & Kulikov, D. O. (2024). Acid numbers as a criterion for suitability of bitumens for wearing layers from cast emulsion-mineral mixtures of road pavements. *Modern Technologies and Calculation Methods in Construction*, 22, 206–214. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-21)
34. DSTU B V.2.7-46:2010. Building materials – General-purpose cements – Technical specifications.
35. Sidun, Y. V., Sobol, H. S., Bidos, V. M., Stadnik, V. Y., & Stanchak, S. A. (2025). Cast emulsion-mineral mixtures using aluminum sulfate. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 109, 111–118. <http://bulletin.khadi.kharkov.ua/article/view/336094>

Література

1. ДСТУ EN 12597:2018 Бітум та бітумні в'язучі. Словник термінів (EN 12597:2014, IDT)
2. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови
3. Asphalt Institute and Eurobitume. (2015). The bitumen industry – a global perspective: production, chemistry, use, specification, and occupational exposure. Third edition.
4. Błażejowski, K. & Wójcik-Wiśniewska, M. (2017). Bitumen Handbook. Poland: *ORLEN Asfalt*. <https://asfalt.orlen.pl>
5. Revuelta, M. B. (2021). Construction Materials: Geology, Production and Applications. *Springer Nature*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65207-4>
6. Гунька В. М. (2024) Основи технологій хімічного модифікування нафтових залишків і бітумів: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.17.07 – хімічна технологія палива та паливно-мастильних матеріалів *Національний університет «Львівська політехніка»*, 451 с. <https://uacademic.info>
7. Золотарьов В.О., Пиріг Я.І, Галкін А.В, Кудрявцева-Вальдес С.В. (2010) Порівняльне дослідження властивостей окиснених і залишкових бітумів *Автомобілів України*, 4, 32-37.
8. Grynshyn, Oleg & Donchenko, Myroslava & Khlibyshyn, Yuriy & Poliak, Olha. (2021). Investigation of Petroleum Bitumen Resistance to Aging. *Chemistry & Chemical Technology*, 15, 438-442. 10.23939/chcht15.03.438

9. Копинець, І. В. (2021). Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття шляхом зменшення технологічного старіння бітумів. *Кандидатська дисертація, Національний транспортний університет*. 188 с https://uacademic.info/download/file/0421U102035/Kopynets_dis.pdf
10. Малир, В. В., Повзун, О. І. (2025). Груповий склад бітумів як основа їх температурних властивостей. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 108, 244-244. <https://dspace.khadi.kharkov.ua>
11. Кіщинський, С. В., Копинець, І. В. (2015). Підвищення стійкості окислених бітумів до старіння шляхом їх компаундування з дистиляційними бітумами. *Автошляховик України*, 5, 50-52. <http://diser.ntu.edu.ua/>
12. Teltayev, Bagdat, Radovskiy, Boris, Seilkhanov, T., Oliviero, Cesare & Amirbayev, Erik. (2022). Low and high temperature characteristics of compounded and modified bitumens. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 648. 129308. 10.1016/j.colsurfa.2022.129308. <https://www.sciencedirect.com>
13. Teltayev, B., Seilkhanov, T., Oliviero Rossi, C., Amirbayev, Y., & Begaliyeva, S. (2021). Low Temperature Resistance Increase for Bitumen by Compounding with Tar. *Applied Sciences*, 11(18), 8579. <https://doi.org/10.3390/app11188579>.
14. Khlibyshyn, Y. Y., Grynysyn, O. B., & Pochapska, I. Y. (2025). Feasibility of producing bitumen from different types of tar. *Issues of Chemistry & Chemical Technology*, 2. 134-143. <https://udhtu.edu.ua/>
15. Evdokimova, N.G. & Makhmutova, A.R. & Aliyeva, Narmina & Guseinova, E.A.. (2022). Production of thermostable road bitumens by the method of "oxidation-compounding". *Azerbaijan Chemical Journal*. 102-108. 10.32737/0005-2531-2022-4-102-108. <https://akj.az/>
16. Львов О. М. (2007) Дослідження можливості використання кислих гудронів в дорожньому будівництві *Вісник Національного університету "Львівська політехніка", Теорія і практика будівництва*, 602, 135–138.
17. Фридер І.В., Топільницький П.І., Гринишин О.Б.(2013) Використання кислих гудронів у виробництві нафтових бітумів. *Вісник НУ «ЛП»*, 761,452-457. <https://science.lpnu.ua/uk/node/4547>
18. П. І. Топільницький, М. І. Приварська, В. В. Романчук, Є. О. Дідун (2015) Проблеми утилізації ставкових кислих гудронів *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : збірник матеріалів 2-го Міжнародного конгресу*, с. 66.
19. Волошин П. (2016) Аналіз впливу Львівського сміттєзвалища на природне середовище *Вісник Львівського університету. Серія : Геологічна*, 26, 139-147. http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_geol_2012_26_13
20. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови
21. ASTM D664 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration
22. ДСТУ EN ISO 3675:2012 Нафта сира та нафтопродукти рідкі. Метод лабораторного визначення густини ареометром (EN ISO 3675:1998, IDT)
23. ДСТУ EN ISO 6245:2012 Нафтопродукти. Метод визначення золи (EN ISO 6245:2002, IDT)
24. ДСТУ EN ISO 9029:2022 Сира нафта. Визначення води. Метод дистиляції (EN ISO 9029:1995, IDT; ISO 9029:1990, IDT)

25. ДСТУ EN ISO 8754:2022 Нафтопродукти. Визначення вмісту сірки. Енергодисперсійна рентгенівська флуоресцентна спектроскопія (EN ISO 8754:2003, IDT; ISO 8754:2003, IDT)
26. ДСТУ EN ISO 3016:2022 Нафта та супутні продукти з природних або синтетичних джерел. Визначення температури застигання (EN ISO 3016:2019, IDT; ISO 3016:2019, IDT)
27. ДСТУ EN ISO 3104:2022 Нафтопродукти. Прозорі та непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості та обчислення динамічної в'язкості (EN ISO 3104:2020, IDT; ISO 3104:2020, IDT)
28. ДСТУ ISO 1928:2006 Палива тверді мінеральні. Визначення найвищої теплоти згоряння методом спалювання в калориметричній бомбі та обчислення найнижчої теплоти згоряння (ISO 1928:1995, IDT)
29. ISSA A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal // Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) May 2010.
30. ISSA A143 Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing // Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) February 2010.
31. ISSA Technical Bulletin 113 Test Method for Determining Mix Time for Slurry Surfacing Systems, International Slurry Surfacing Association, Revised 2021
32. Сідун Ю. В. (2017) Підвищення швидкості набору когезійної міцності литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.23.05 – будівельні матеріали та виробу *Національний університет "Львівська політехніка"*, С. 172. <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/6c924642-2648-4a4a-b236-46bee2fb00c5/content>
33. Сідун Ю. В., Гунька В. М., Поляк О. Є., Куліков Д. О.(2024) Кислотні числа – критерій придатності бітумів для шарів зносу із литих емульсійно-мінеральних сумішей дорожніх покриттів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві : збірник наукових праць*, 22, 206–214. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-21)
34. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови
35. Сідун Ю. В., Соболев Х. С., Бідось В. М., Стаднік В. Є., Станчак С. А. (2025) Литі емульсійно-мінеральні суміші з використанням сульфату алюмінію. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 109, 111–118. <http://bulletin.khadi.kharkov.ua/article/view/336094>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Sidun Yu. *

Ph.D, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3606-6899>
 Department of Highways and Bridges
 Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

Gunka V.

DSc, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3480-0693>
 Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

Kulikov D.

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2554-5295>
Department of Highways and Bridges

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

Teshchyshyn N.

Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3360-2099>

Department of Highways and Bridges

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

Kalmuk M.

Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3582-2539>

Department of Highways and Bridges

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

*corresponding author, e-mail: yurii.v.sidun@lpnu.ua

Influence of bitumen binder compounding on the properties of slurry surfacing

How to Cite:

Sidun Iu., Gunka V., Kulikov D., Teshchyshyn N., Kalmuk M. (2025). Influence of bitumen binder compounding on the properties of slurry surfacing. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 427-439. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-37](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-37)

Abstract. The possibility of using compounded bituminous binders for the production of cationic bituminous emulsions, as a component in slurry surfacing mix, was investigated. Compounding was carried out by mixing a base 70/100 bitumen from PKN Orlen, produced from light crude oil, with 70/100 and 100/150 distilled bitumens from Nynas (Sweden), produced from heavy crude oil. Additionally, the base bitumen was mixed with pre-prepared acidic pitch (Hrybovychi, Lviv region). The study examined the properties of the acidic pitch and the main physical and mechanical characteristics of the compounded binders, including their acid numbers. For the production of cationic bituminous emulsions, both compounded and non-compounded binders were used for comparison. The composition of the bituminous emulsion also included a cationic emulsifier (amine-based), hydrochloric acid, and potable water. Emulsions were prepared using a laboratory bitumen–emulsion unit of the colloid mill type. Slurry surfacing mixtures were produced using emulsion binders, potable water, Portland cement grade PC II/A-III-400, and a breaking regulator in the form of a 10% wt. solution of the emulsifier used for the preparation of the cationic bituminous emulsions. The slurry surfacing mixtures were tested for mixture breakdown, material loss during wet abrasive wear, and cohesion strength parameters, specifically the onset of cohesion strength development, the express indicator of mixture formation, and the failure types NS and SS (allowing determination of transport opening with and without restrictions, respectively). The study demonstrated that effective compounding options include a ratio of distilled bitumen from heavy crude oil to bitumen from light crude oil of 50% wt. to 50% wt., and the addition of 10–15% wt. acidic pitch to the bitumen from light crude oil.

Keywords: compounding, light and heavy crude oils, acid tar, bituminous emulsions, cement, slurry surfacing mixtures.

УДК 528.92

М. В. Смаль*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О. В. Дзюбинська

к.е.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1478-8452>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Н.В. Піліпака

студентка спеціальності Архітектура та містобудування

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

І. В. Задорожнікова

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-7528>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Н. І. Ільчук

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7419-2661>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: smal.masha2017@mail.com

Використання геопросторових даних для сталого розвитку територіальних громад

Цитувати як:

Смаль, М.В., Дзюбинська, О.В., Піліпака, Н.В., Задорожнікова, Н. І. Ільчук (2025). Використання геопросторових даних для сталого розвитку територіальних громад. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 440-452. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-38](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-38)

© 2025, Смаль М.В., Дзюбинська О.В., Піліпака Н.В., Задорожнікова І.В., Ільчук Н.І.

Стаття висвітлює ключову роль геопросторових даних та геоінформаційних систем (ГІС) у забезпеченні сталого розвитку територіальних громад України. Актуальність проблематики підкреслюється необхідністю реалізації завдань, визначених у нормативно-правових актах щодо розвитку національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД), розроблення містобудівної документації місцевого рівня, зокрема комплексних планів просторового розвитку, створення системи містобудівного кадастру та проведення моніторингу.

У статті розкривається потенціал геопросторових даних для глибокого аналізу території, виявлення проблем та можливостей, ефективного планування інфраструктури та використання ресурсів. Як приклад практичного впровадження наводиться досвід Шпанівської сільської ради Рівненської області зі створення

геоінформаційного середовища на базі програмного забезпечення QGIS, як підготовчого етапу для розробки Комплексного плану просторового розвитку території. Застосування шаблону бази геоданих у форматі GeoPackage, розробленого в рамках краудсорсингового проєкту та поширюваного на умовах ліцензії Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0, дозволило громаді ефективно обробляти матеріали.

Водночас, стаття вказує на існуючі виклики, пов'язані з використанням геопросторових даних, зокрема ризики конфіденційності та безпеки даних, а також відсутність єдиних стандартів, що ускладнює інтеграцію даних. Для їх подолання пропонується забезпечити стандартизацію та інтероперабельність даних, розробити ефективні механізми їх захисту та забезпечити підготовку кваліфікованих фахівців. Робиться висновок, що впровадження геопросторових технологій є необхідною умовою для сталого розвитку територіальних громад, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення, оптимізувати використання ресурсів та підвищувати якість життя мешканців громади.

Ключові слова: сталий розвиток території територіальної громади, геопросторові дані, просторове планування, проєкт містобудівної документації на місцевому рівні, містобудівний кадастр

Вступ

Децентралізація в Україні посилила роль територіальних громад, зробивши їх ключовими суб'єктами у публічному управлінні сталим розвитком. Зі зростанням повноважень зросла і відповідальність: громади тепер зобов'язані створювати комфортне середовище для життя членів громади, враховуючи не лише поточні потреби, а й інтереси майбутніх поколінь. У цьому контексті геопросторові дані стають не просто інструментом, а необхідною умовою для ефективного управління та розвитку території. Їхня актуальність підкреслюється потребою у реалізації завдань, визначених у низці нормативно-правових актів України. До таких завдань належить розвиток національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД), розроблення містобудівної документації, зокрема комплексних планів просторового розвитку, створення системи містобудівного кадастру та проведення моніторингу.

Основний напрямок дослідження у цій статті полягає у висвітленні ключової ролі геопросторових даних та ГІС у забезпеченні сталого розвитку територіальних громад. Дослідження розкриває потенціал цих даних для глибокого аналізу території, виявлення проблем та можливостей, а також ефективного планування інфраструктури та використання ресурсів. Як приклад практичного впровадження, у статті аналізується досвід Шпанівської сільської ради Рівненської області зі створення геоінформаційного середовища на базі програмного забезпечення QGIS, як підготовчого етапу розроблення Комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади. Сталий розвиток України

безпосередньо залежить від успішної інтеграції та ефективного використання геопросторових даних та ГІС.

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. Актуальність проблематики щодо формування геоінформаційних ресурсів та їх використання для сталого розвитку територіальних громад пов'язана із реалізацією завдань, визначених у нормативно-правових актах України щодо розвитку національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) [1], розроблення містобудівної документації місцевого рівня, у тому числі комплексних планів просторового розвитку територій територіальних громад [2], та створення системи містобудівного кадастру [3].

Геопросторові дані, що описують розташування об'єктів та їх взаємозв'язки [1], дозволяють громадам глибше розуміти свою територію. Вони надають можливість аналізувати просторову організацію, виявляти потенційні проблеми та можливості, а також приймати обґрунтовані рішення щодо розвитку інфраструктури, використання ресурсів та планування територій. Важливо не просто збирати геопросторові дані, а інтегрувати їх з іншими типами даних (економічними, соціальними, екологічними). Це дозволяє отримати повну картину стану громади та прогнозувати наслідки різних рішень. Геоінформаційні системи (ГІС) дозволяють створювати просторові моделі, які відображають різні сценарії розвитку громади. Це допомагає оцінити вплив будівництва нових об'єктів, зміни транспортних потоків або кліматичних змін на різні аспекти життя громади.

Особливо важливим є застосування геопросторових даних у розробленні містобудівної документації. Якісні дані є основою для створення ефективної містобудівної документації. Згідно з постановою №926 Кабінету Міністрів України [4], комплексні плани просторового розвитку, генеральні плани населених пунктів та детальні плани територій є наборами тематичних геопросторових даних, що підкреслює їхню ключову роль у процесі планування. Візуалізація даних та схеми, створені на основі геопросторової інформації, є життєво важливими інструментами для обґрунтованих втручань, дозволяючи спостерігати просторові закономірності, які інакше залишилися б непоміченими.

Попри важливість та значні можливості геопросторової інформації та ГІС у сталому розвитку, існує значний розрив між їх потенційним та фактичним використанням, особливо на рівні формування політики та прийняття рішень. Цей розрив не є проблемою самої технології, а радше проблемою її впровадження та прийняття. Хоча на рівні законодавства створено необхідну правову основу, але це автоматично не вирішує складних практичних питань імплементації. Це означає, що для досягнення цілей сталого розвитку в Україні недостатньо лише розробляти нові закони та нормативні акти; необхідно зосередитися на розробці та впровадженні дієвих механізмів реалізації цих законів.

Існують конкретні виклики, пов'язані з використанням геопросторових даних, включаючи ризики конфіденційності та безпеки даних, а також відсутність єдиних стандартів, що значно ускладнює інтеграцію даних з різних джерел. Проблема переходить від "що робити" до "як це ефективно зробити" в реальних умовах, вимагаючи створення уніфікованих стандартів, розвитку технічної інфраструктури, навчання фахівців та забезпечення фінансової підтримки.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є аналіз сучасних практик використання геопросторових даних для забезпечення сталого розвитку територіальних громад.

Основними завданнями є:

- визначити ключові напрямки застосування геопросторових даних у громадському управлінні;
- проаналізувати приклад створення геоінформаційного середовища на рівні громади;
- дослідити переваги та ризики використання геопорталів;
- окреслити проблеми впровадження та запропонувати рекомендації.

Матеріали та методи

Методикою досліджень передбачено комплексний підхід, що включає аналіз нормативно-правової бази та кейс-стаді підхід. Дослідження ґрунтується на детальному аналізі чинних законів та постанов Кабінету Міністрів України, що регулюють сфери національної інфраструктури геопросторових даних, містобудівної діяльності та містобудівного кадастру. Цей аналіз забезпечує актуальну правову та методологічну основу для розуміння контексту використання геопросторових даних.

Для ілюстрації практичного впровадження та виявлення викликів і переваг використання геопросторових даних було застосовано метод кейс-стаді. Зокрема, детально проаналізовано досвід Шпанівської сільської ради Рівненської області зі створення геоінформаційного середовища. Цей підхід дозволяє отримати глибокі відомості щодо реальних процесів та проблем на місцевому рівні.

Результати та обговорення

Наявні геопросторові дані можуть бути використані для вирішення широкого кола завдань у сфері просторового планування та управління.

Ключовими напрямками застосування геопросторових даних у просторовому плануванні та управлінні є наступні.

Аналіз просторового розподілу населення. Аналіз карт щільності населення та демографічних даних, пов'язаних з просторовими одиницями, дозволяє зрозуміти закономірності та тенденції розподілу населення, що є важливим для прийняття рішень щодо житлового будівництва, розвитку інфраструктури та надання послуг. Комбінування даних про населення з

інформацією про транспортну мережу та соціальну інфраструктуру може виявити райони з високою щільністю населення, але обмеженим доступом до необхідних послуг або транспорту.

Планування інфраструктури. Використання даних про існуючу інфраструктуру (транспортні мережі, інженерні комунікації, дощова каналізація) є основою для планування розширення, модернізації та розвитку нової інфраструктури з метою задоволення потреб зростаючого населення та зміни моделей землекористування. Порівняння даних про інфраструктуру з планами розвитку, визначеними в генеральних та детальних планах територій, допомагає виявити потенційні вузькі місця або райони, що потребують інвестицій в інфраструктуру.

Аналіз землекористування. Дослідження поточних моделей землекористування (на основі планів зонування території та кадастрових даних) дозволяє оцінити ефективність використання землі, виявити території для потенційної ревіталізації або збереження, а також контролювати дотримання планів зонування території. Порівняння історичних даних про землекористування з сучасними може виявити тенденції розростання населених пунктів або зміни у використанні земельних ресурсів.

Оцінка впливу на навколишнє середовище. Інтеграція просторових даних про природні об'єкти (об'єкти природно-заповідного фонду, гідрографічні об'єкти та рослинний покрив) з планами просторового розвитку дозволяє оцінити потенційний вплив на навколишнє середовище та розробити стратегії його мінімізації. Аналіз просторових взаємозв'язків між запланованими забудовами та екологічно чутливими територіями сприяє більш екологічно сталому розвитку територій.

Оцінка ризиків та планування надзвичайних ситуацій. Використання просторових даних про розподіл населення, інфраструктуру (найближчі укриття) та потенційні небезпеки (зони затоплення) є важливим для оцінки ризиків та розробки ефективних планів реагування на надзвичайні ситуації. Геопортали можуть надавати оперативну інформацію під час криз, наприклад, про розташування пунктів допомоги.

Геопросторові дані використовуються для моніторингу стану навколишнього середовища, виявлення зон екологічного ризику та планування заходів з охорони природи. Наприклад, дані дистанційного зондування дозволяють відстежувати зміни лісових масивів, водних ресурсів та рівня забруднення повітря. Окрім того, геопросторові дані сприяють прозорості процесу планування, залучаючи громадян до прийняття рішень. Онлайн-геопортали, де громадяни можуть ознайомитися з документацією, висловити свою думку та надати пропозиції, стають все більш поширеними.

На прикладі Шпанівської сільської ради Рівненського району Рівненської області можна розглянути досвід створення геоінформаційного

середовища як підготовчого етапу розроблення Комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади.

В першу чергу була сформована комплексна база геопросторових даних на основі таких матеріалів:

1. Топографічні плани масштабу 1:10000 на територію Шпанівської територіальної громади виконані у 2021 році (ортофотоплани, топографічний план в векторному вигляді);

2. Нормативна грошова оцінка населених пунктів за даними, що внесені в автоматизовану систему державного земельного кадастру України (АСДЗКУ);

3. Дані Укргеоінформу щодо меж ділянок на які видано Спеціальні дозволи на користування надрами;

4. Дані АСДЗКУ щодо земельних ділянок в межах громади станом на 16.02.2023 року;

5. Генеральні плани та схеми зонування території населених пунктів у форматі Adobe Portable Document Format (PDF).

Для формування бази даних був використаний шаблон для розроблення містобудівної документації місцевого рівня, що складається із бази даних та робочого проекту в середовищі ГІС QGIS. Цей шаблон був створений в рамках краудсорсингового проекту зі створення відкритих інструментів для просторового планування «Відкриті інструменти просторового планування для України», та який поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 licence (CC BY-SA), що дозволяє безкоштовне використання, модифікацію та розповсюдження з зазначенням авторства. Критеріями вибору шаблонів баз геоданих у форматі GeoPackage слугували: зручність обробки матеріалів, можливість підтримки їх актуальності силами територіальної громади, а головне застосування безкоштовного програмного забезпечення ГІС QGIS.

З метою підвищення ефективності виконання основних функцій та задач Відділу земельних відносин, архітектури та житлово-комунального господарства, у геоінформаційному середовищі QGIS на територію громади та окремо на кожний населений пункт було створено окремі проекти (рис. 1-3).

Кожен проект містить попередньо визначені набори класів об'єктів, які є найбільш затребуваними у роботі відділу.

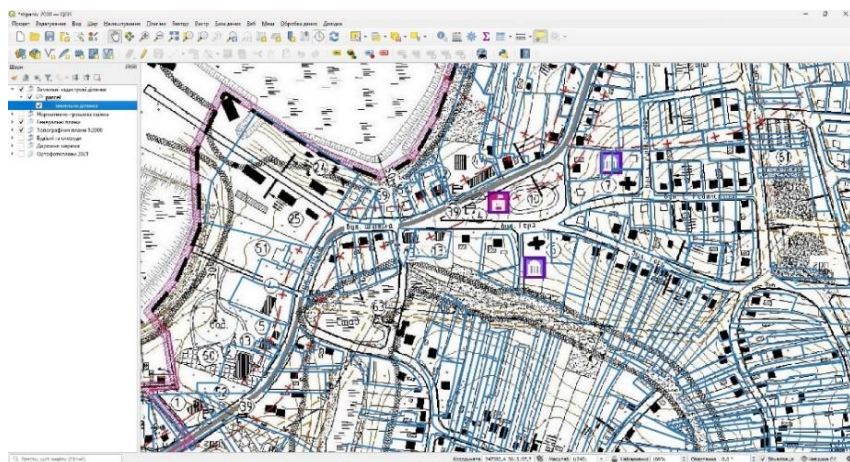


Рис. 1. Проект з геоданими с. Шпанів Шпанівської територіальної громади в середовищі QGIS (шари «Земельні кадастрові ділянки» і «Генеральні плани»)

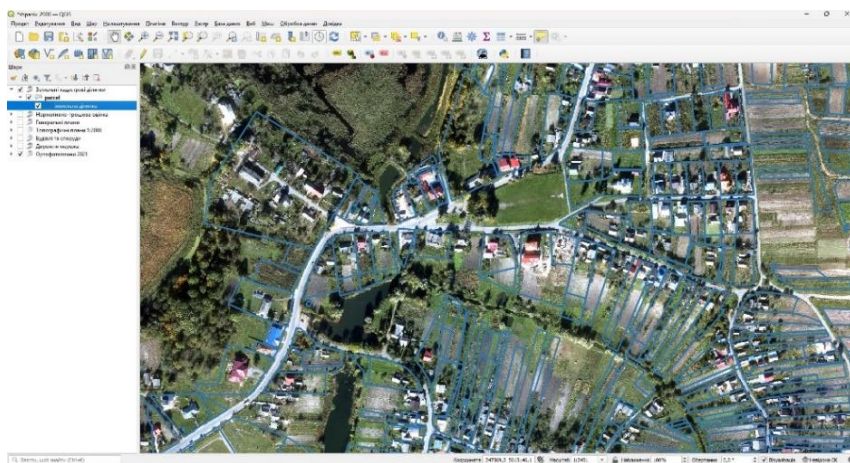


Рис. 2. Проект з геоданими с. Шпанів Шпанівської територіальної громади в середовищі QGIS (шари «Земельні кадастрові ділянки» і «Ортофотоплани 2021»)

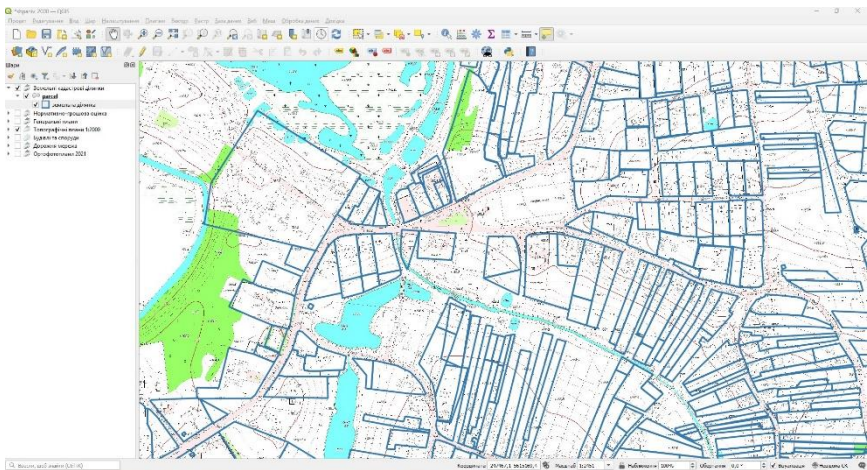


Рис. 3. Проект з геоданими с. Шпанів Шпанівської територіальної громади в середовищі QGIS (шари «Земельні кадастрові ділянки» і «Топографічні плани 1:2000»)

Містобудівний кадастр, що базується на геопросторових даних, є ключовим інструментом для управління розвитком території. Містобудівний кадастр складається з Реєстру містобудівної документації, електронного кабінету, геопорталу, а також інших інформаційних систем, підсистем та модулів [4]. Складовою частиною Містобудівного кадастру є Єдина державна електронна система у сфері будівництва, до якої входять Єдиний державний реєстр адміністративно-територіальних одиниць та територій територіальних громад, Єдиний державний реєстр адрес, Реєстр будівель і споруд. Містобудівний кадастр містить інформацію про геопросторові дані території, про адміністративно-територіальні одиниці, екологічні, інженерно-геологічні умови, будівельну діяльність, інформаційні ресурси будівельних норм і правил для задоволення інформаційних потреб у плануванні територій та будівництві, формування галузевої складової державних геоінформаційних ресурсів.

Геопортал, в свою чергу, являє собою онлайн-платформу, призначену для збору, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних, часто з інтерфейсом публічного доступу. Такі платформи є важливим елементом інфраструктури для цифрового управління та забезпечення публічного доступу до інформації, пов'язаної з міським плануванням. Доступ до просторових даних через геопортали дозволяє оптимізувати процеси планування, покращити якість рішень та сприяти більш ефективному використанню ресурсів громади.

Геопортал Рівненської міської територіальної громади, наприклад, пропонує різноманітні тематичні карти, включаючи план зонування,

соціально-культурні об'єкти, тимчасові споруди, містобудівні умови та обмеження, генеральний план та червоні лінії (рис. 4).

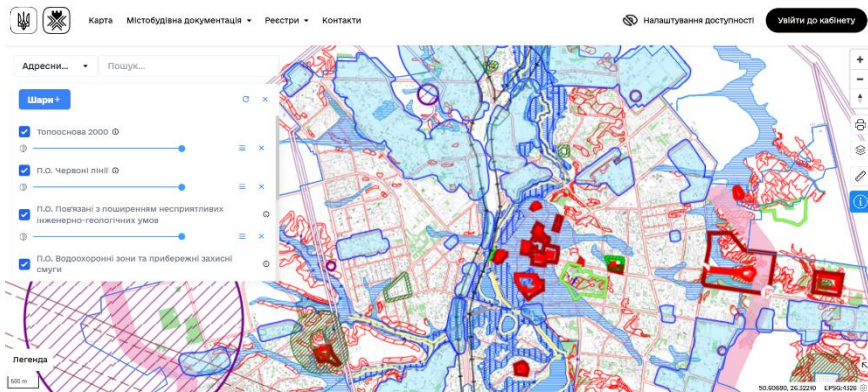


Рис. 4. Геопортал Рівненської міської територіальної громади Рівненської області

Крім того, на геопорталі доступні реєстри поштових адрес, тимчасових споруд, реклами, пайової участі, містобудівних умов та обмежень (до та після 10.06.2017) та будівельних паспортів. Різноманітність тематичних карт та реєстрів підкреслює увагу до детального управління міським господарством на муніципальному рівні.

Водночас, слід зазначити, що частина даних на геопорталі Рівненської громади обмежена для публічного доступу розпорядженням міського голови з міркувань безпеки, зокрема інформація про розташування головних магістральних інженерних мереж.

Виклики та проблеми впровадження геопросторових даних. Попри визнану важливість та можливості геопросторової інформації та ГІС у сталому розвитку, існує значний розрив між потенційним та фактичним використанням, особливо на рівні формування політики та прийняття рішень. Цей розрив не є проблемою технології, а радше проблемою її впровадження та прийняття. Використання геопросторових даних пов'язане з викликами. Ризики конфіденційності та безпеки даних вимагають розробки нових підходів до захисту інформації. Відсутність єдиних стандартів ускладнює інтеграцію даних з різних джерел. Обмежена доступність геопросторових даних є значною проблемою для проєктів сталого розвитку.

Недостатня обізнаність та розуміння на політичному рівні перешкоджає повноцінному впровадженню технологій. Проблеми якості та інтеграції даних в Україні включають неактуальні дані, недостатній обсяг історичних даних, а також різноманітність форматів та низьку точність

існуючих даних. Нестача координації в органах місцевого самоврядування ускладнює уніфікацію та обмін даними. Також існує потреба в чітких інструкціях щодо публічного розповсюдження даних, що необхідна для балансу між прозорістю та безпекою.

Виявлені проблеми – відсутність єдиних стандартів, обмежена доступність, ризики безпеки, нестача кваліфікованих кадрів, проблеми якості та координації – не є ізольованими. Наприклад, відсутність стандартів прямо ускладнює інтеграцію даних, що, своєю чергою, обмежує їх доступність та корисність для прийняття рішень. Без належної підготовки фахівців навіть наявні дані та інструменти не можуть бути ефективно використані. Проблеми координації на місцевому рівні також перешкоджають уніфікації та обміну даними. Це вказує на те, що точкові рішення не будуть ефективними; потрібен системний, скоординований підхід на державному рівні, який охоплюватиме правові, технічні, організаційні та освітні аспекти.

Рекомендації для подолання викликів. Для ефективного використання геопросторових даних необхідно забезпечити їх стандартизацію та інтероперабельність. Це дозволить обмінюватися даними між різними системами та організаціями. Необхідно розробити ефективні механізми захисту даних від несанкціонованого доступу та використання. Важливо дотримуватися принципів конфіденційності та захисту персональних даних. Окрім того, слід забезпечити підготовку кваліфікованих фахівців, що включає навчання роботі з ГІС, аналізу геопросторових даних та їх застосування в різних галузях.

Висновки

Впровадження геопросторових технологій є необхідною умовою для сталого розвитку територіальних громад. Переваги цих технологій численні: вони покращують якість прийняття рішень, оптимізують розподіл та використання ресурсів, забезпечують комплексний моніторинг та відстеження прогресу у виконанні планів розвитку. Крім того, геопросторові дані заповнюють прогалини в інформації, підвищують її якість, сприяють міждисциплінарній співпраці між різними відомствами та ефективному залученню громадськості до процесів планування.

Особливо важливою є здатність геопросторових даних "локалізувати" глобальні цілі, перетворюючи їх на конкретні, дієві ініціативи на місцевому рівні. Це дозволяє громадам адаптувати широкі стратегії до своїх унікальних потреб та ресурсів. Підкреслюється значна економічна та соціальна цінність геопросторових даних у підвищенні загальної ефективності управління територіями. Ці дані є критично важливими для реалізації стратегій відновлення та відбудови України на місцевому рівні, дозволяючи інтегрувати екологічні, соціальні та економічні аспекти, забезпечуючи комплексний підхід до відбудови.

Проактивне планування, що можливе завдяки ГІС, дозволить уникнути помилок минулого та побудувати більш стійкі, інвестиційно привабливі та ефективні громади, що безпосередньо сприяє досягненню ширших цілей сталого розвитку та національної безпеки. Інвестиції у геопросторові технології та інфраструктуру мають розглядатися не як витрати, а як стратегічні інвестиції у майбутнє країни.

Попри значний потенціал, впровадження геопросторових технологій стикається з низкою суттєвих викликів. Серед них – недостатня обізнаність та розуміння важливості цих технологій на політичному рівні, а також проблеми, пов'язані з доступністю, якістю та інтеграцією даних. Зокрема, для України характерні такі проблеми, як застарілі дані, недостатній обсяг історичних даних, а також різноманітність форматів та низька точність існуючих даних. Додатковими викликами в Україні є нестача координації в органах місцевого самоврядування та відсутність чітких інструкцій щодо публічного розповсюдження даних, що ускладнює їх ефективне використання та обмін. Успішне впровадження НІГД та розбудова Містобудівного кадастру вимагає не лише технічних рішень, а й значних інвестицій у людський капітал (освіта та навчання), розробку чітких політик та ефективну міжвідомчу координацію. Це стратегічне завдання для національного розвитку та відновлення, що впливає на всі сфери управління.

Для подолання цих системних бар'єрів необхідні цілеспрямовані зусилля, що включають забезпечення стандартизації та інтероперабельності даних, розробку ефективних механізмів їх захисту, а також забезпечення підготовки кваліфікованих фахівців у галузі геопросторових технологій.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Verkhovna Rada Ukrainy (2020). *Pro natsionalnu infrastrukturu heoprosorovykh danykh: Zakon Ukrainy № 554-IX*. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#n2>
2. Verkhovna Rada Ukrainy (2011). *Pro rehulivannia mistobudivnoi diialnosti: Zakon Ukrainy № 3038-VI*. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17/ed20250209#Text>
3. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2024, August 09). *Deiaki pytannia realizatsii eksperymentalnoho proektu shchodo zaprovadzhennia Mistobudivnoho kadastru na derzhavnomu rivni: Postanova №909*. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/909-2024-%D0%BF#Text>
4. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2021, September 01). *Pro zatverdzhennia Poriadku rozroblennia, onovlennia, vnesennia zmin ta zatverdzhennia mistobudivnoi dokumentatsii: Postanova №926*. [Electronic resource]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF#Text>

Література

1. Верховна Рада України (2020). *Про національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України № 554-IX*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#n2>
2. Верховна Рада України (2011). *Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України № 3038-VI*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17/ed20250209#Text>
3. Кабінет Міністрів України. (2024, 09 серпня). *Деякі питання реалізації експериментального проекту щодо запровадження Містобудівного кадастру на державному рівні: Постанова №909*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/909-2024-%D0%BF#Text>
4. Кабінет Міністрів України. (2021, 01 вересня). *Про затвердження Порядку розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації: Постанова №926*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF#Text>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.11.2025	Received in revised form 15.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

M.V. Smal*

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-333-0984>
Department of Construction and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, ul. Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine, 43018

O.V. Dziubynska

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1478-8452>
Department of Construction and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, ul. Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine, 43018

N.V. Pilipaka

Student of the specialty Architecture and Urban Planning
Department of Architecture and Design
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

I.V. Zadorozhnikova

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-7528>
Department of Construction and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, ul. Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine, 43018

N. I. Ilchuk

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7419-2661>
Department of Construction and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, ul. Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: smal.masha2017@mail.com

Use of geospatial data for sustainable development of territorial communities

How to Cite:

Smal, M.V., Dziubynska O.V., Pilipaka, N.V., Zadorozhnikova I.V., Ilchuk N. I. (2025). Use of geospatial data for sustainable development of territorial communities. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 440-452. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-38](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-38)

Abstract. This article highlights the crucial role of geospatial data and Geographic Information Systems (GIS) in ensuring the sustainable development of Ukrainian territorial communities. The urgency of this issue is underscored by the need to implement tasks outlined in regulatory acts concerning the development of the national geospatial data infrastructure (NGDI), the creation of urban planning documentation (including comprehensive spatial development plans), the establishment of an urban planning cadastre system, and the execution of monitoring.

The article explores the potential of geospatial data for in-depth territorial analysis, identifying problems and opportunities, and efficient planning of infrastructure and resource utilization. As an example of practical implementation, it presents the experience of the Shpanivska Village Council in the Rivne region, which created a geoinformation environment based on QGIS software as a preparatory stage for developing a Comprehensive Spatial Development Plan for their territory. The community effectively processed materials by using a geodatabase template in GeoPackage format, developed as part of a crowdsourcing project and distributed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 license.

At the same time, the article points out existing challenges associated with the use of geospatial data, including risks related to data confidentiality and security, as well as the absence of unified standards, which complicates data integration. To overcome these challenges, it is proposed to ensure data standardization and interoperability, develop effective mechanisms for data protection, and provide training for qualified specialists. The article concludes that the implementation of geospatial technologies is a necessary condition for the sustainable development of territorial communities, enabling informed decision-making, optimizing resource utilization, and improving the quality of life for community residents.

Keywords: sustainable development of the territory of the territorial community, geospatial data, spatial planning, draft urban planning documentation at the local level, urban planning cadastre.

УДК 625.7

Р. В. Смолянюк

к.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7087-7834>

кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,
Харків, Україна, 61002

О. О. Воловик*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0949-3767>

кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,
Харків, Україна, 61002

*автор-кореспондент, e-mail: volovyk-dntc@ukr.net

Дослідження закономірностей розподілення транспортних потоків на під'їздах до крупних населених пунктів в умовах урбанізації

Цитувати як:

Смолянюк, Р. В., Воловик, О. О. (2025). Дослідження закономірностей розподілення транспортних потоків на під'їздах до крупних населених пунктів в умовах урбанізації. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 24, 453-464. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-39](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-39)

© 2025, Смолянюк Р. В., Воловик О. О.

Зростання інтенсивності руху, зміна складу транспортного потоку поступово призводить до перевантаження автомобільних доріг та вулиць магістрального значення транспортним потоком, особливо в умовах урбанізації. Дія динамічного навантаження у таких випадках замінюється статичним навантаженням, що може призвести до передчасного руйнування конструктивних шарів дорожнього одягу. Це у свою чергу потребує нових вишукування та прийняття інших проєктних рішень. На основі аналізу літературних джерел, публікацій, звітів з обліку інтенсивності руху та складу транспортного потоку минулих років і технічної документації про наявність ділянок автомобільних доріг загального користування в межах України у статті обґрунтовано доцільність виконання обліку інтенсивності руху та складу транспортного потоку. Як відомо, наявні дані про інтенсивність руху та склад транспортного потоку є важливим транспортно-експлуатаційним показником, який дає можливість обґрунтування і планування обсягів та термінів виконання ремонтних робіт, підвищення якості дорожніх умов та безпеки руху з подальшим забезпеченням пропускнуої здатності автомобільної дороги відповідно до проєктної категорії за рівнем завантаженості автомобільної дороги як в межах однієї окремо взятої області, так і транспортних коридорів та логістичних маршрутів, які проходять територією України.

На різних категоріях автомобільних доріг та фінансових спроможностей обслуговуючих організацій або балансоутримувачів, для визначення інтенсивності

руху та складу транспортного потоку на даний момент існують та широко використовуються автоматичні лічильники, відео зйомка та відео фіксація, а також метод візуального контролю та обліку транспортних засобів. Для досягнення поставленої мети, облік руху виконувався візуально для прямого і зворотного напрямків на тимчасових облікових пунктах з транспортного засобу. Перевагу надано візуальному обліку інтенсивності руху, оскільки автоматизовані прилади мають обмежені можливості розподілу транспортних засобів за типами. Наведено результати дослідження з обліку транспортних засобів на автомобільних дорогах державного значення в межах Харківської області та на під'їздах до обласного центру – міста Харкова, приведено методику розрахунку фактичних значень кількості транспортних засобів до показників середньорічної добової інтенсивності руху.

Ключові слова: інтенсивність руху, склад транспортного потоку, автомобільна дорога, індекс дороги, візуальний облік, автоматизований облік.

Вступ

Щорічна зміна інтенсивності руху та складу транспортного потоку, зростання частки великовагових та великогабаритних транспортних засобів призводить до поступового перевантаження автомобільних доріг та вулиць магістрального значення транспортним потоком. Пропускна здатність автомобільної дороги, як наслідок, знижується, а у деяких випадках утворюються затори і рух транспортних засобів максимально сповільнюється. Разом з цим на верхній шар асфальтобетонного покриття і конструкцію дорожнього одягу передаються не лише динамічні короточасні навантаження але й статичні довготривалі навантаження, які можуть призвести до передчасного руйнування проїзної частини.

Аналізом літературних джерел, публікацій, звітів з обліку інтенсивності руху та складу транспортного потоку минулих років і технічної документації про наявність ділянок автомобільних доріг загального користування в межах України, враховуючи вимоги [1] встановлено, що облік інтенсивності руху та складу транспортного потоку не виконувався вже тривалий час.

Відповідно до вимог [1], п. 2, таблиця 2.6 роботи з визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на дорогах загального користування (посилаючись на Постанову № 1318 (від 15.12.2023 року) «Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення») [2] виконуються щорічно.

Наявні дані про інтенсивність руху та склад транспортного потоку є важливим транспортно-експлуатаційним показником, який дає можливість обґрунтування і планування обсягів та термінів виконання ремонтних робіт,

підвищення якості дорожніх умов та безпеки руху з подальшим забезпеченням пропускної здатності автомобільної дороги відповідно до проєктної категорії [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Метою роботи є встановлення закономірностей розподілу транспортних засобів на під'їздах до крупних населених пунктів в умовах урбанізації. Для досягнення поставленої мети, завданням є облік інтенсивності руху та складу транспортного потоку на досліджуваних об'єктах.

Матеріали та методи

Методикою досліджень є встановлення кількості транспортних засобів, які проходять через певний переріз автомобільної дороги, на основі зорового спостереження. Обов'язковою умовою спостереження є розподіл транспортних засобів по типах [9], оскільки завантаженість транспортного засобу та його марка, кількість осей, кількість коліс на одній осі, тип коліс, тип підвіски, тиск у шинах та швидкість руху по різному впливають на конструкцію дорожнього одягу і у подальшому на пропускну здатність автомобільної дороги, як інженерної споруди.

Для визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на даний момент існують та широко використовуються автоматичні лічильники, відео зйомка та відео фіксація, а також метод візуального контролю та обліку транспортних засобів. Разом взяті або окремо взяті вище вказані складові елементи визначаються як облік руху.

Облік руху – це комплекс заходів зі збору, обробки, зберігання і видачі інформації про інтенсивність і склад руху транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування.

Автоматизований облік руху – це облік руху транспортних засобів який виконується за допомогою одного або мережі пунктів (або приладів) інструментального обліку.

Інструментальний облік руху – це облік руху проведений за допомогою лічильника-класифікатора транспортних засобів.

Безпосередньо на ділянці вимірювання облік руху може бути вибіркоким (коли збір інформації проводиться протягом окремих діб, або годин доби); неперервним (коли збір інформації виконується цілодобово протягом року безперервно); оперативним (коли облік виконується за короткі проміжки часу (менше години)).

Візуальний метод визначення інтенсивності руху та складу

транспортного потоку є найбільш точним способом, який дозволяє віднести кожен транспортний засіб, що проїжджає до відповідного класу транспортного засобу. Цей метод найдешевший, оскільки немає необхідності купляти та встановлювати додаткове обладнання для проведення вимірювань. З недоліків слід відмітити, що візуальний облік транспортних засобів ускладнюється при їх високій швидкості особливо в умовах щільного транспортного потоку.

Для досягнення поставленої мети, облік руху виконувався візуально для прямого і зворотного напрямків на тимчасових облікових пунктах з транспортного засобу. Перевагу надано візуальному обліку інтенсивності руху, оскільки автоматизовані прилади мають обмежені можливості розподілу транспортних засобів за типами.

Класифікацію транспортних засобів обрано відповідно до категорії, залежно від типу транспортного засобу за призначенням перевезень, у тому числі за кількістю осей та відстанню між ними (для вантажних транспортних засобів) відповідно до [9].

Транспортні засоби, які проїжджають через визначений переріз обраної ділянки спостереження зводяться до форми візуального обліку, яка регламентується у [9].

Результати та обговорення

Дослідження проведено на прикладі автомобільних доріг державного значення в межах Харківської області які мають підходи до обласного центру – міста Харкова (табл. 1). Автомобільні дороги міжнародного, регіонального та територіального значень [2] є важливими транспортними коридорами, які пролягають територією Харківської області, відповідно, проходять через чисельну кількість населених пунктів, у тому числі районні центри, сполучаючи їх між собою. Відповідність транспортно-експлуатаційного стану, рівня завантаженості тієї чи іншої ділянки обраної автомобільної дороги є взаємопов'язаними показниками з тією кількістю транспортних засобів, які рухаються по ній. Особливо актуальним є встановлення рівня завантаженості автомобільної дороги на підходах до населених пунктів, де щільність потоку є найбільшою. При цьому слід враховувати, що на збільшення щільності потоку впливає не тільки кількість транспортних засобів, але і стан проїзної частини, кількість смуг руху, щільність регульованих і не регульованих перехресть, зон зниження швидкості тощо.

Таблиця 1. Перелік автомобільних доріг державного значення в межах Харківської області

Автомобільні дороги загального користування згідно із [2]		Протяжність ділянки автомобільної дороги		Загальна протяжність ділянки обстеження, км	Категорія автомобільної дороги
Індекс автомобільної дороги	Назва автомобільної дороги	Від, км	До, км		
1	2	3	4	5	6
М-03	Київ-Харків-Довжанський	396+094	421+080	24,986	I
		421+080	441+568	20,488	II
		441+568	453+375	11,807	I
		453+375	464+621	11,246	II
		464+621	473+151	8,53	I
		473+151	517+621	44,47	II
		517+621	523+206	5,585	I
		523+206	524+221	1,015	II
		524+221	536+066	11,845	I
		536+066	561+756	25,690	II
		561+756	563+756	2,000	I
		563+756	594+321	30,565	II
		594+321	605+876	11,555	I
		605+876	648+570	42,694	II
1	2	3	4	5	6
М-18	Харків-Сімферополь-Алушта-Ялта	9+387	147+419	138,032	II
М-20*	Харків-Щербаківка	10+000	15+725	5,725	II
М-29	Харків-Красноград-Переципине-Дніпро	0+000	127+735	127,735	I
Р-46	Харків-Охтирка	0+000	80+813	80,813	III
Р-78*	Харків-Зміїв-Балаклія-Гороховатка	0+000	80+366	133,968	III
		84+227	137+829		
Т-21-03*	Харків-Золочів-КПП "Олександрівка"	0+000	33+858	33,858	III
Т-21-04*	Харків-Вовчанськ-КПП "Чугунівка"	0+000	36+810	72,536	III
		62+974	98+700		

* – Окрім зони проведення бойових дій

На обраних автомобільних дорогах в межах Харківської області виконано розподіл пунктів обліку в місцях чітко вираженої зміни інтенсивності руху, тобто поза межами населених пунктів, на підходах до населених пунктів з населенням понад двадцять тисяч мешканців, обласних та районних центрів, адміністративних центрів, вантажоутворювальних та пасажироутворювальних комплексів, у місцях перетинання або примикання автомобільних доріг державного значення, у місцях примикання з іншими автомобільними дорогами, де очікується різка зміна загальної інтенсивності руху транспортного потоку.

Візуальний облік руху виконувався одночасно у прямому (в бік збільшення кілометражу) і зворотному (в бік зменшення кілометражу) напрямках руху транспортних засобів. Результати візуального обліку занесено у бланки обліку транспортних засобів, форма якого встановлена вимогами [9]. На рис. 1 наведено приклад заповненої форми обліку на автомобільній дорозі міжнародного значення, яка є важливим транспортним коридором України.

[illegible][illegible]

Рис. 1. Приклад форми візуального спостереження на автомобільній дорозі М-03 Київ-Харків-Довжанський, км 464+000, відповідно у прямому і зворотному напрямках

Пункти обліку в межах обраних ділянок та фактичні значення інтенсивності руху окремо по кожному виду транспорту на основі зорового спостереження наведено у табл. 2. За отриманими результатами розраховано середньомісячну добову інтенсивність руху та середньорічну добову інтенсивність руху з урахуванням поправочних коефіцієнтів, які враховують нерівномірність розподілу інтенсивності руху за годинами

доби, днями тижня, тижнями місяця, місяцями року (табл. 3). Ці коефіцієнти використовуються при оперативному та вибірковому обліку руху для визначення відповідно добової, середньотижневої добової, середньомісячної добової та середньорічної добової інтенсивності руху. Оскільки у даній роботі дослідження виконувалися вибірково візуальним методом, то постає необхідність подальших розрахунків [9].

Відповідно: середньомісячна добова інтенсивність руху – це відношення кількості транспортних засобів, що пройшли через певний поперечний переріз автомобільної дороги за місяць, до кількості діб в даному місяці. Середньорічна добова інтенсивність руху – це відношення кількості транспортних засобів, що пройшли через певний поперечний переріз автомобільної дороги за рік, до кількості діб в році.

Таблиця 2. Зведений журнал обліку інтенсивності руху транспортних засобів на автомобільних дорогах державного значення в межах Харківської області

Індекс дороги	Місце визначення інтенсивності руху, км	Назва ділянки				Інтенсивність руху транспортних засобів по типах										
		Від		До		Легкові	Мікро-автомобілі	Автомобілі середні	Автомобілі важкі	Вантажні легкі	Вантажні середні	Вантажні важкі	Автомобілі			
													Тягачі з напівпричіпом	Тягачі з причепом	Мотоцикли та інші ТЗ	
М-03	399+000	396	094	404	013	491	48	2	4	41	59	46	114	10	0	0
	405+000	404	000	417	000	485	48	0	6	48	57	44	107	6	0	0
	420+000	417	000	427	000	627	48	10	6	65	88	52	166	12	0	0
	435+000	427	000	446	555	547	46	2	6	82	72	51	124	9	0	0
	450+000	446	555	459	200	890	66	18	3	51	101	63	137	14	1	1
	461+000	459	200	462	194	1173	65	7	3	109	108	74	127	5	2	2
	464+000	462	194	468	000	1410	106	54	4	63	153	80	113	16	5	5
	470+000	468	000	472	221	1480	109	7	5	166	170	184	180	6	8	8
	475+000	472	221	484	265	705	35	3	1	36	61	82	46	5	2	2
	490+000	484	265	492	840	653	35	10	0	20	53	44	38	8	1	1
	500+000	492	840	507	500	322	20	1	0	32	36	56	44	5	0	0
	515+000	507	500	516	225	421	32	5	0	27	56	56	40	3	0	0
	518+000	516	225	522	000	1723	103	11	28	163	133	77	63	10	6	6
	530+000	522	000	539	070	1343	128	15	8	137	123	132	53	6	2	2
	556+000	539	070	561	470	301	33	3	0	40	31	29	14	1	1	1
	571+500	561	470	573	390	319	45	2	0	35	36	47	20	11	1	1
	590+000	573	390	600	887	289	35	5	0	44	34	33	17	1	3	3
	610+000	600	887	625	000	212	32	6	0	27	14	12	5	3	1	1
	629+000	625	000	629	500	256	23	2	0	32	36	39	21	4	0	0
	634+000	629	500	646	200	190	18	1	1	24	24	32	13	4	0	0
646+300	646	200	648	570	181	22	1	0	23	17	24	8	2	0	0	
М-18	12+000	9	387	19	129	2028	100	34	8	152	117	107	85	4	2	2
	23+000	19	129	31	500	1325	59	27	5	33	132	47	39	4	3	3
	35+000	31	500	36	709	623	35	10	4	69	52	49	45	2	0	0
	45+000	36	709	49	749	240	10	10	0	10	46	37	42	6	0	0
	53+000	49	749	68	200	98	9	5	0	4	5	16	8	0	0	0
	90+000	68	200	93	230	44	1	5	0	5	5	5	21	4	0	0
	95+000	93	230	102	680	125	8	11	3	5	14	19	25	12	1	1
	107+500	102	680	118	165	897	40	31	0	12	93	36	17	4	2	2
	120+000	118	165	147	419	58	6	3	0	1	12	2	5	0	3	3
	11+000	10	000	12	500	319	13	7	0	10	23	8	3	0	0	2
М-20	15+500	12	500	15	725	128	5	4	0	8	13	7	0	0	0	0
	10+000	0	000	29	458	422	30	2	2	26	40	41	32	4	0	0
	37+000	29	458	59	317	320	21	1	5	26	52	53	61	12	1	1
	60+000	59	317	74	200	258	13	8	0	18	81	36	142	13	0	0
	81+000	74	200	89	700	213	4	12	4	11	106	51	121	6	0	0
	96+000	89	700	98	385	301	12	9	2	26	82	40	92	6	0	0
	105+000	98	385	127	735	263	16	11	3	22	53	19	82	8	0	0
P-46	12+300	0	000	19	700	877	51	22	0	51	58	49	24	3	4	4
	31+000	19	700	43	000	423	19	17	0	9	74	17	30	2	0	0

	52+000	43	000	61	750	659	35	7	0	36	53	39	47	7	2
	63+000	61	750	71	100	286	8	12	0	16	62	22	40	10	2
	72+000	71	100	75	900	162	13	2	0	17	27	24	29	2	1
	80+000	75	900	80	813	153	9	7	1	10	31	25	30	3	0
P-78	8+000	0	000	11	500	1120	30	38	8	36	144	47	26	2	5
	13+000	11	500	19	000	653	32	16	4	37	109	19	12	1	3
	22+000	19	000	36	000	544	19	9	6	23	54	14	16	1	3
	42+000	36	000	63	000	272	13	0	4	13	35	22	8	3	2
	70+000	63	000	80	366	88	6	1	2	7	28	9	7	4	3
	105+000	84	227	117	890	88	4	0	0	9	7	6	0	0	3
	121+000	117	890	128	900	22	2	2	0	1	5	7	1	0	0
	132+000	128	900	137	829	52	3	1			7	8	3	0	1
	9+420	0	000	11	500	1342	50	17	0	74	76	165	20	0	5
	13+000	11	500	21	000	1054	29	8	2	40	148	81	21	0	6
T-21-03	24+000	21	000	29	700	283	7	1	0	10	17	12	5	0	0
	33+200	29	700	33	858	204	3	1	0	12	5	6	0	0	0
	0+900	0	000	6	000	436	13	7	3	19	38	24	11	1	1
	10+330	6	000	26	000	233	10	6	1	13	21	6	0	0	2
T-21-04	30+000	26	000	36	810	177	5	6	1	6	15	3	0	0	0
	64+000	62	974	74	000	24	0	0	0	3	3	1	4	1	0
	81+000	74	000	90	000	20	1	0	0	0	2	0	19	1	2
	98+000	90	000	98	700	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця 3. Зведена відомість результатів визначення середньорічної добової інтенсивності руху транспортних засобів на автомобільних дорогах державного значення в межах Харківської області

Індекс дороги	Місце визначення інтенсивності руху, км	Назва ділянки				Середньорічна добова інтенсивність транспортних засобів по типах										Разом	
		Від	До	Легкові	Мікро-автомобілі	Автомобілі середні	Автомобілі важкі	Вантажні легкі	Вантажні середні	Вантажні важкі	Автомобілі		Мотоцикли та інші ТЗ				
											Тягачі з напірним приводом	Тягачі з приводом					
М-43	399+000	396	094	404	013	3606	358	15	30	356	513	400	1395	97	0	6770	
	405+000	404	000	417	000	3465	315	0	39	413	491	379	1363	57	0	6522	
	420+000	417	000	427	000	4796	353	74	44	496	672	397	1485	75	0	8392	
	435+000	427	000	446	555	4272	370	16	48	658	578	409	1131	66	0	7548	
	450+000	446	555	459	200	6359	440	120	20	360	713	445	1053	99	7	9616	
	461+000	459	200	462	194	8413	439	47	20	767	760	520	1036	30	12	12044	
	464+000	462	194	468	000	10480	776	396	29	586	1422	744	1440	206	64	16143	
	470+000	468	000	472	221	11320	903	58	41	1338	1370	1483	1650	55	73	18291	
	475+000	472	221	484	265	5240	256	22	7	335	567	762	586	64	26	7865	
	490+000	484	265	492	840	5144	281	80	0	169	448	372	353	72	9	6928	
	500+000	492	840	507	500	2537	161	8	0	271	305	474	409	45	0	4210	
	515+000	507	500	516	225	3008	252	39	0	200	414	414	326	23	0	4676	
	518+000	516	225	522	000	12455	765	82	208	1215	991	574	523	75	45	16933	
	530+000	522	000	539	070	9736	1025	120	64	1360	1221	1310	816	77	26	15755	
	556+000	539	070	561	470	2220	403	37	0	348	270	252	158	13	13	3714	
	571+500	561	470	573	390	2237	440	20	0	280	288	377	175	103	9	3929	
М-18	590+000	573	390	600	887	1905	189	27	0	246	190	185	119	4	12	2877	
	610+000	600	887	625	000	1384	171	32	0	187	97	83	34	17	6	2011	
	629+000	625	000	629	500	1711	178	16	0	263	296	321	266	33	0	3084	
	634+000	629	500	646	200	1300	190	11	11	187	187	250	138	36	0	2310	
	646+300	646	200	648	570	1280	204	9	0	181	134	189	72	17	0	2086	
	12+000	9	387	19	129	19675	726	247	58	1413	1088	995	1198	46	23	25460	
	23+000	19	129	31	500	12855	428	196	36	307	1227	437	550	46	34	16116	
	35+000	31	500	36	709	4631	259	74	30	540	407	383	406	15	0	6745	
	45+000	36	709	49	749	1784	74	74	0	78	360	290	379	45	0	3084	
	53+000	49	749	68	200	629	57	32	0	28	35	112	59	0	0	952	
	90+000	68	200	93	230	276	6	30	0	35	35	35	148	23	0	588	
	95+000	93	230	102	680	792	45	62	17	38	106	144	181	72	6	1463	
	107+500	102	680	118	165	7096	395	306	0	108	840	325	207	56	28	9361	
	120+000	118	165	147	419	445	52	26	0	9	102	17	46	0	32	729	
	М-20	11+000	10	000	12	500	3028	105	57	0	92	213	74	44	0	23	3636
		15+500	12	500	15	725	916	50	40	0	66	107	58	0	0	0	1237
М-29	10+000	0	000	29	458	3008	253	17	17	245	377	386	417	48	0	4768	
	37+000	29	458	59	317	2330	243	12	58	234	468	477	659	149	12	4642	
	60+000	59	317	74	200	1752	112	69	0	132	592	263	1058	106	0	4084	
	81+000	74	200	89	700	1475	36	109	36	82	793	382	990	46	0	3949	
	96+000	89	700	98	385	2146	120	90	20	203	640	312	850	54	0	4435	
P-46	105+000	98	385	127	735	1711	145	99	27	171	412	148	978	67	0	3758	
	12+300	0	000	19	700	5987	355	153	0	406	462	390	302	26	34	8115	
	31+000	19	700	43	000	2888	132	118	0	72	589	135	377	17	0	4328	
	52+000	43	000	61	750	5020	314	63	0	289	425	313	453	67	19	6963	
	63+000	61	750	71	100	2197	69	104	0	128	498	177	372	94	19	3658	

	72+000	71	100	75	900	1214	101	15	0	134	213	189	250	17	8	2141
	80+000	75	900	80	813	1137	72	56	8	75	233	188	236	24	0	2029
	8+000	0	000	11	500	10631	242	307	65	333	1331	435	377	23	57	13801
P-78	13+000	11	500	19	000	4676	317	158	40	304	897	156	114	9	27	6698
	22+000	19	000	36	000	3797	150	71	47	215	504	131	223	13	39	5190
	42+000	36	000	63	000	1948	153	0	47	111	299	188	85	41	28	2900
	70+000	63	000	80	366	599	57	9	19	55	220	71	58	39	29	1156
	105+000	84	227	117	890	543	17	0	0	47	37	32	0	0	11	687
	121+000	117	890	128	900	135	16	16	0	8	38	53	12	0	0	278
	132+000	128	900	137	829	357	30	10	0	54	61	23	0	9	9	553
T-21-03	9+420	0	000	11	500	9770	578	196	0	666	684	1485	216	0	62	13657
	13+000	11	500	21	000	7545	243	67	17	314	1160	635	188	0	45	10214
	24+000	21	000	29	700	2034	77	11	0	90	154	109	58	0	0	2533
	33+200	29	700	33	858	1454	25	8	0	113	47	56	0	0	0	1703
	0+900	0	000	6	000	2737	121	65	28	139	278	175	84	7	7	3641
	10+330	6	000	26	000	1579	85	51	8	104	167	48	0	0	13	2055
	30+000	26	000	36	810	1680	40	48	8	55	139	28	0	0	0	1998
T-21-04	64+000	62	974	74	000	166	0	0	0	23	23	8	36	8	0	264
	81+000	74	000	90	000	119	8	0	0	0	13	0	136	6	11	293
	98+000	90	000	98	700	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106

На основі отриманих даних побудовано епюру розподілу транспортних засобів, відповідно до обраних ділянок спостереження (рис. 2).

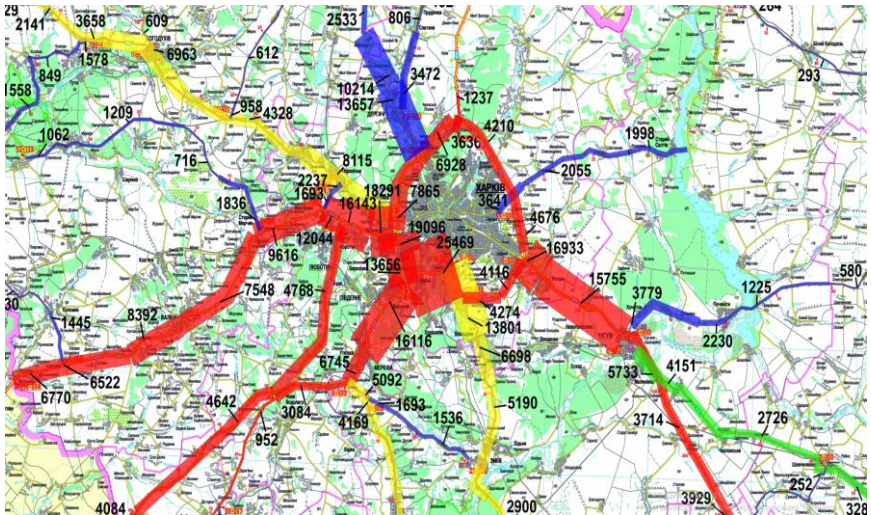


Рис.2. Епюра середньорічної добової інтенсивності руху транспортних засобів в межах Харківської області

Висновки

За результатами досліджень можемо спостерігати, що найбільша концентрація транспортних засобів характерна у найближчих точках до досліджуваного об'єкту – обласного центру міста Харків. З них найбільшу частку становлять легкові автомобілі, які рухаються як у прямому, так і зворотному напрямках. Таким чином, результатом проведених досліджень можуть бути використані при подальшому визначенні рівня завантаженості автомобільної дороги, обґрунтування заходів щодо підвищення

транспортно-експлуатаційних показників автомобільної дороги, формування плану дорожніх робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання в умовах урбанізації.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося в рамках виконання Договору зі Службою відновлення та розвитку інфраструктури у Харківській області від 2023 року.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Technical rules for repair and maintenance of public roads of Ukraine: P-G.1-218-113:2009. – [Valid from 01.07.2009]. – Kyiv, Kharkiv, 2009. – 258 p.
2. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On Approval of the List of Public Roads of State Importance”, No. 1318 dated 12/15/2023.
3. Road safety. Highways. Requirements for operational condition: DSTU 3587:2022. – [Valid from 2022-12-01]. – Kyiv: State Enterprise “UkrNDNTs”, 2022. – 19 p.
4. Road safety. Linear analysis of accident rates and assessment of traffic safety conditions on highways: DSTU 8894:2019. – [Valid from 2020-10-01]. – Kyiv: State Enterprise “UkrNDNTs”, 2019. – 37 p.
5. Types and list of repair and maintenance works. Highways: DSTU 8747:2017. – [Valid from 2020-01-01]. – Kyiv: State Enterprise “UkrNDNTS”, 2018. – 14 p.
6. DBN V.2.3-4:2015 Highways. Part I. Design. Part II. Construction. [Valid from 2016-04-01]. Kyiv, Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2015. – 91 p.
7. DBN V.2.3-4:2015. Amendment No. 1 Highways. Part I. Design. Part II. Construction. [Valid from 2019-09-01]. Kyiv, Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2019. – 34 p.
8. DBN V.2.3-4:2015. Amendment No. 2 Highways. Part I. Design. Part II. Construction. [Valid from 2022-03-01]. Kyiv, Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine, 2021. – 16 p.
9. Determination of traffic intensity and composition of the traffic flow: DSTU 8824:2019. – [Valid from 2019-10-01]. – Kyiv: State Enterprise “UkrNDNTS”, 2019. – 36 p.

Література

1. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України: П-Г.1-218-113:2009. – [Чинний від 01.07.2009]. – Київ, Харків, 2009. – 258 с.
2. Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення», № 1318 від 15.12.2023 року.
3. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану: ДСТУ 3587:2022. – [Чинний від 2022-12-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 19 с.
4. Безпека дорожнього руху. Лінійний аналіз аварійності та оцінювання умов безпеки руху на автомобільних дорогах: ДСТУ 8894:2019. – [Чинний від 2020-10-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 37 с.
5. Види та перелік робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання. Автомобільні дороги: ДСТУ 8747:2017. – [Чинний від 2020-01-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 14 с.
6. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 91 с.
7. ДБН В.2.3-4:2015. Зміна № 1 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2019-09-01]. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. – 34 с.
8. ДБН В.2.3-4:2015. Зміна № 2 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2022-03-01]. Київ, Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. – 16 с.
9. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку: ДСТУ 8824:2019. – [Чинний від 2019-10-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 36 с.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 13.11.2025	Received in revised form 13.11.2025
Прийнято 19.11.2025	Accepted 19.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

R. V. Smolianiuk

Ph.D., Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7087-7834>

Department of Construction and Operation of Highways named after O.K. Birulya

Kharkiv National Automobile and Road University, Yaroslava Mudryho St., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

O.O. Volovyk*

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0949-3767>

Department of Construction and Operation of Highways named after O.K. Birulya

Kharkiv National Automobile and Road University, Yaroslava Mudryho St., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

*corresponding author, e-mail: volovyk-dntc@ukr.net

Research into the patterns of traffic flow distribution at the entrances to large settlements in conditions of urbanization

How to Cite:

Smolianiuk R. V., Volovyk O.O. (2025). Research into the patterns of distribution of traffic flows at the entrances to large settlements in the conditions of urbanization. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 453-464. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-39](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-39)

Abstract. The increase in traffic intensity and the change in the composition of the traffic flow gradually lead to the overloading of highways and streets of major importance with traffic flow, especially in conditions of urbanization. The action of dynamic loading in such cases is replaced by static loading, which can lead to premature destruction of the structural layers of the road surface. This, in turn, requires new research and the adoption of other design decisions. Based on an analysis of literary sources, publications, reports on traffic intensity and composition of traffic flow in previous years, and technical documentation on the availability of public roads within Ukraine, the article substantiates the feasibility of recording traffic intensity and composition of traffic flow. As is well known, available data on traffic intensity and composition of traffic flow is an important transport and operational indicator that makes it possible to justify and plan the scope and timing of repair work, improve road conditions and traffic safety, and subsequently ensure the traffic capacity of the motorway in accordance with the design category based on the level of traffic congestion both within a single region and along transport corridors and logistics routes passing through the territory of Ukraine.

For different categories of motorways and the financial capabilities of service organizations or balance holders, automatic counters, video recording and video recording, as well as the method of visual control and accounting of vehicles, currently exist and are widely used to determine traffic intensity and the composition of traffic flow. To achieve the set goal, traffic was recorded visually for both directions at temporary recording points from a vehicle. Preference is given to visual traffic intensity accounting, since automated devices have limited capabilities for classifying vehicles by type. The results of a study on the accounting of vehicles on state highways within the Kharkiv region and on the approaches to the regional center, the city of Kharkiv, are presented, and a methodology for calculating the actual values of the number of vehicles to the indicators of average annual daily traffic intensity is given.

Keywords: traffic intensity, traffic flow composition, motorway, road index, visual accounting, automated accounting.

УДК 625.7/8

Р. В. Смолянюк

к.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7087-7834>

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Бірулі
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,
Харків, Україна, 61002

Н. В. Смолянюк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4254-8990>

Кафедра мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,
Харків, Україна, 61002

*автор-кореспондент, e-mail: smalia@ukr.net

Збільшення шумового забруднення від автотранспорту як наслідок бойових дій на території України

Цитувати як:

Смолянюк, Р. В., Смолянюк, Н. В., (2025). Збільшення шумового забруднення від автотранспорту як наслідок бойових дій на території України. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 465-476. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-40](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-40)

© 2025, Смолянюк Р. В., Смолянюк Н. В.,

Воєнні дії на території України істотно вплинули на всі сфери життя українців. Транспортна інфраструктура не стала виключенням. Автомобільні дороги України значно постраждали. Покриття і узбіччя багатьох доріг, а також їх земляне полотно істотно деформовані через неконтрольований рух важкої військової техніки, як колісної так і гусеничної, будівництво військових споруд, мінування, вибухи і з інших причин, пов'язаних з війною.

Дороги є важливими логістичними маршрутами, від яких значною мірою залежить економіка країни. Для України дороги мають особливе значення, оскільки вони є основними каналами постачання армії. Дороги країни зазнали серйозних пошкоджень. У багатьох районах дорожнє покриття, узбіччя та земляне полотно значно постраждали від неконтрольованого руху важкої військової техніки, будівництва оборонних споруд, мінування, вибухів, а також інших причин, пов'язаних зі збройним конфліктом.

Навіть на тих ділянках доріг, де безпосередньо не відбувалися бойові дії, покриття доріг істотно деформоване через рух важкої військової гусеничної техніки. На даному етапі важко оцінити, чи вплинуло таке навантаження на довговічність автомобільних доріг. Однак, вже зараз неможливо заперечити, що шумовий фон навколо автомобільних доріг зазнав значних змін. Згідно з результатами досліджень, представленими у статті, збільшення рівня шуму (вимірювання виконувались як в салоні різних автомобілів, так і поруч з проїзною частиною) на деформованих ділянках доріг коливається від 10 до 22 дБ, залежно від типу транспортного засобу та швидкості. Отже, загальний шумовий фон

може перевищувати рекомендовані значення та впливати на здоров'я людей. У статті розглядаються причини підвищення рівня шуму.

Ключові слова: зчипні властивості дорожнього покриття, коефіцієнт зчеплення, текстура покриття, шорсткість покриття, дорожнє покриття.

Вступ

Внаслідок руху гусеничної військової техніки по дорогам України відбувається утворення на покритті вм'ятин глибиною у 2-3 мм і шириною близько 5 см. Такі сліди залишають спеціальні виступи на гусеницях – ґрунтозачеми. На поверхні дорожнього покриття, що зазнало впливу гусеничної техніки утворюється специфічний мікро профіль. При русі по такому профілю умови робити шини автомобіля змінюються, що виражається в істотному збільшенні шуму під час руху [1-3].

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є оцінка шумового забруднення салонів автомобілів, що рухаються по пошкоджених ділянках автомобільних доріг. Завдання дослідження – вимірювання рівня шуму в салонах різних автомобілів під час руху по пошкоджених і непошкоджених ділянках, порівняння з діючими санітарними нормами.

Матеріали та методи

Для досліджень використовувався цифровий вимірювач шуму моделі «SVAN-974», а також програмне забезпечення для вимірювання шуму «Sound Meter 2.7.8».

Результати та обговорення

Специфічний мікропрофіль на покритті доріг. Чисельні проходи гусеничної техніки призводять до формування на покритті особливого профілю (рис. 1).

Із зрозумілих причин неможливо встановити кількість проходів і вид техніки, що рухалася по дорозі. Але за результатами огляду різних ділянок можна зробити наступні висновки. В результаті одиночних проїздів машин на покритті утворюється ряд вм'ятин з кроком, що відповідає кроку ґрунтозачепів на гусениці. Після певної кількості проходів техніки формується періодичний профіль з довжиною хвилі 5-7 см і амплітудою 2,5-3,2 мм (рис. 2).

За непрямыми ознакам були виділені ділянки, на яких була відносно невелика кількість проходів, і ділянки (переважно на магістральних вулицях), де кількість проходів техніки буда значно більша. Слід зазначити, що результати вимірювань профілю, що утворився, фактично ідентичні.



Рис. 1. Загальний вигляд мікропрофілю, що утворився на покритті дороги в результаті проїзду гусеничної військової техніки

Тобто, після певної кількості проходів техніки на покритті формується профіль, який в подальшому неістотно змінюється в результаті нових проходів гусеничної техніки. Після літнього періоду амплітуда профілю дещо зменшується, але навіть під інтенсивним рухом колісного транспорту такий профіль не зникає повністю.



Рис. 2. Геометричні характеристики профілю, створеного гусеничними машинами

Профіль, що утворився на покритті, істотно впливає на шум, який утворюється під час руху автомобіля. Згідно досліджень [4-7] причинами шуму є ряд факторів (рис. 3).

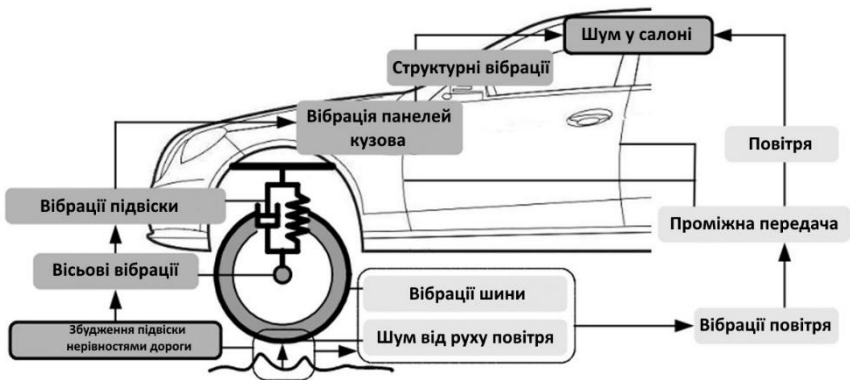


Рис. 3. Шлях передачі шуму в салон автомобіля [5]

В нашому випадку причиною збільшення шуму є зміна характеру взаємодії шини з покриттям автомобільної дороги. На нашу думку, в основному це відбувається за рахунок збільшення об'єму повітря, яке стискається і вичавлюється з-під шини під час руху автомобіля. Аналогічні процеси відбуваються, коли автомобіль рухається по покриттю, яке має значну шорсткість. Фактично, після проїздів гусеничних машин, на покритті утворюється новий профіль, що має значно більшу шорсткість, ніж попередній.

На автомобільних дорогах Харківської області і на вулично-дорожній мережі міста Харкова були виконані дослідження щодо вимірювання шуму, що утворюється в салоні легкового автомобіля під час руху по покриттях, що піддалися впливу важкої гусеничної техніки.

Вимірювання виконувалися шумоміром SVAN-974 фірми Svantek (рис. 4).



Рис. 4. Шумомір SVAN-974 фірми Svantek

Для виконання попередніх вимірювань і швидкого аналізу результатів використовувалося програмне забезпечення «Sound Meter 2.7.8» для операційної системи «Android» (рис. 5).

Вимірювання шуму виконувалось в салоні автомобіля Hyundai Getz 2008 року випуску (клас «В») з механічною трансмісією і бензиновим

двигуном 1,4 л. Для порівняння виконувались вимірювання шуму на ділянках вулиць і доріг які піддалися впливу гусеничної техніки і на сусідніх з ними ділянках, на яких візуально були відсутні сліди руху техніки. Вимірювання виконувалися під час руху в діапазоні швидкостей, дозволених на даній ділянці.

Оскільки багато вимірювань виконувалось безпосередньо в межах міста Харкова (травень – липень 2023 р.), в загальних результатах наведені дані до 60 км/год [8-15]. Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 6 і 7.



Рис. 5. Загальний вигляд інтерфейсу програмного забезпечення «Sound Meter 2.7.8»

За результатами досліджень встановлено, що загальний рівень шуму в салоні автомобіля по покриттях, де є сліди руху гусеничної техніки, істотно зростає у порівнянні із неушкодженими покриттями. Із збільшенням швидкості руху рівень шуму істотно збільшується і сягає значень, які на 15-25 дБ вище, ніж під час руху на неушкоджених покриттях.

Були виконані аналогічні дослідження для легкових автомобілів різних класів, в тому числі для: Hyundai SantaFe (автоматична трансмісія, дизельний двигун 2,2 л), Mitsubishi Galant (автоматична трансмісія,

бензиновий двигун 2,5 л), Ford Escape (автоматична трансмісія, бензиновий двигун 2,0 л). В салоні всіх досліджуваних автомобілів рівень шуму зростає на 10-22 дБ під час руху по покриттю, де візуально спостерігаються сліди від гусеничного транспорту.

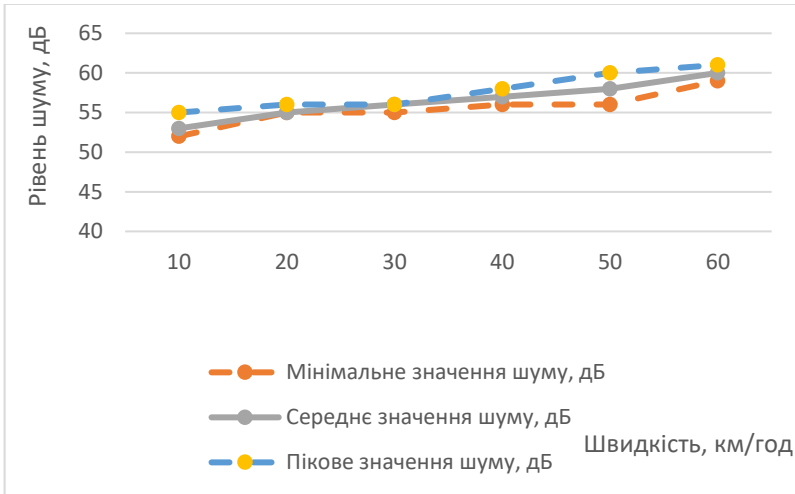


Рис. 6. Результати вимірювання шуму в салоні автомобіля під час руху по ділянках, що не мають ушкоджень (2023)

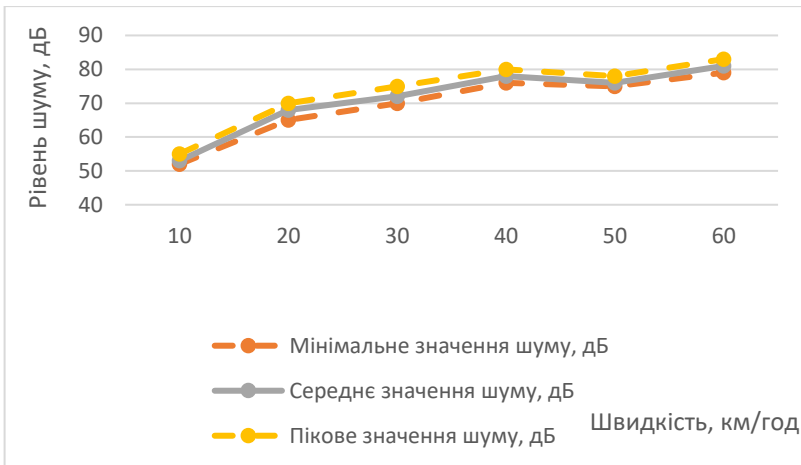


Рис. 7. Результати вимірювання шуму в салоні автомобіля під час руху по ділянках, де візуально спостерігаються сліди гусеничних машин (2023)

Ці ж ділянки були повторно досліджені з використанням тієї ж методології у травні-червні 2024 року [16]. Результати дослідження показано на рисунках 8-9.

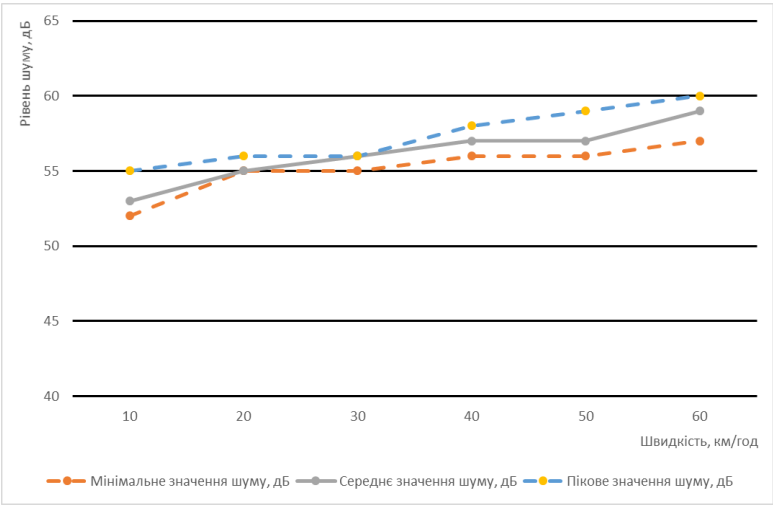


Рис. 8. Результати вимірювання шуму в салоні автомобіля під час руху по неушкоджених ділянках (2024)

В Україні регламентуються допустимі рівні промислового шуму [17]. Згідно з цим документом, встановлені такі граничні рівні шуму залежно від виду транспорту, таблиця 1.

Таблиця 1. Граничні значення рівня шуму для автомобільного транспорту, згідно ДСН 3.3.6.037-99 [17]

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівень шуму, дБ
Робочі місця водіїв та обслуговуючого персоналу тракторів, сільськогосподарчих, меліоративних, шляхово-будівельних, землерийних, транспортних та інших аналогічних машин, водіїв вантажних машин	80
Робочі місця водіїв автобусів	75
Робочі місця водіїв легкових автомобілів	65

Рисунки 8 та 9 показують, що загалом рівень шуму дещо знизився. Це, ймовірно, пов'язано зі зносом дорожнього покриття та деяким згладжуванням виступів.

Під час руху автомобіля по неушкодженому покриттю рівень шуму в салоні у всьому досліджуваному діапазоні швидкостей руху відповідає вимогам санітарних норм [17]. Під час руху по пошкодженому покриттю, починаючи зі швидкості понад 18 км/год, рівень шуму в салоні перевищує рівень, дозволений санітарними нормами України [17].

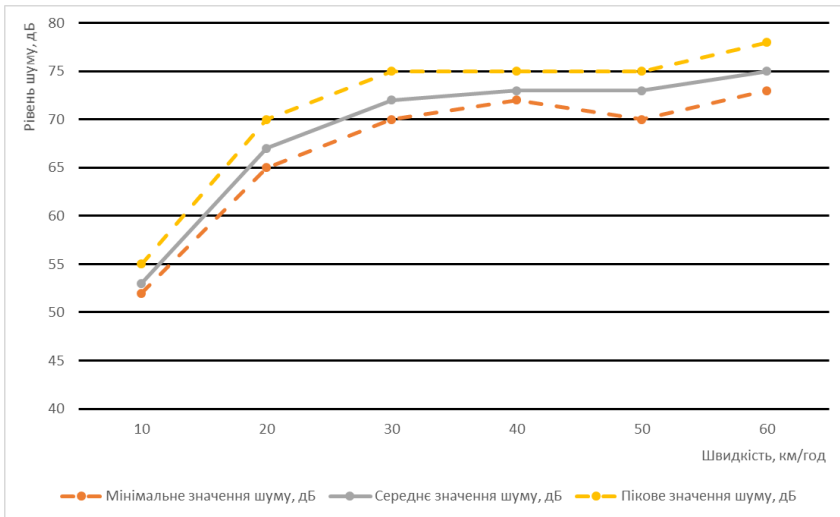


Рис. 9. Результати вимірювання шуму в салоні автомобіля під час руху по ділянках, де візуально спостерігаються сліди гусеничних машин (2024)

З подальшим збільшенням швидкості автомобіля рівень шуму може досягати значень до 83 дБ. У багатьох країнах допустимий рівень шуму до 80 дБ. Згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я [18], рівень шуму понад 80 дБ може становити небезпеку для людського слуху, і ця небезпека зростає зі збільшенням рівня шуму. Тому максимально допустимий рівень шуму у вітчизняних нормативних актах становить 80 дБ. Перевищення безпечного рівня, зафіксовані в салоні автомобілів, свідчить про небезпеку для водія та пасажирів.

Висновки

Масові переміщення гусеничної бронетехніки дорогами України, спричинені військовими діями, завдають не лише очевидних пошкоджень у вигляді зруйнованого дорожнього покриття, деформованих узбіч та інших дорожніх конструкцій. На ділянках доріг, де покриття витримало рух гусеничної техніки без значних деформацій, формується специфічний профіль поверхні дорожнього покриття. Дослідження, проведені у 2023

році, показали, що рух транспортних засобів по пошкоджених дорожніх покриттях збільшує рівень шуму на 10–22 дБ порівняно з тим самим транспортним засобом, що рухається по неушкодженому дорожньому покриттю. Рівень шуму починає значно зростати зі швидкості 20 км/год і може сягати 17 дБ. На швидкості 60 км/год шум від легкового автомобіля може досягати 83 дБ, перевищуючи допустимі норми. Ці ж ділянки доріг були повторно обстежені у 2024 році. Було зафіксовано, що рівень шуму дещо знизився порівняно з 2023 роком, сягаючи 78 дБ, що все ще значно вище, ніж на неушкоджених ділянках, та перевищує рекомендовані значення. Оскільки шум від транспорту суттєво впливає на здоров'я людини, це явище потребує подальшого вивчення та розробки заходів щодо нейтралізації або зменшення його негативного впливу.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. R.V. Smolianiuk, T.M. Grishchenko, V.A. Kolosovsky, O.Yu. Malyarenko, O.Yu. Kostirko, "The influx of military operations in Ukraine into the transport infrastructure," Collection of scientific works 86th International Scientific Conference of University Students (April 2024), 146-150.
2. Yu. Lan, H. Roberts, M-P. Kwan, M. Helbich, "Transportation noise exposure and anxiety: a systematic review and meta-analysis," in Environ. Res., 2020, 191, 110118.
3. S. Khomenko, M. Cirach, J. Barrera-Gómez, E. Pereira-Barboza, T. Iungman, N. Mueller, M. Foraster, C. Tonne, M. Thondoo, C. Jephcote, J. Gulliver, J. Woodcock, M. Nieuwenhuijsen, "Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities" in A health impact assessment. Environment International 2022, 162.
4. H. Steven, "Investigations on noise emission of motor vehicles in road traffic," Final Report. Research project 2005, 200 54 135.
5. J. He, X. Jin, W. Wang, H. Jianfeng, J. Xiaoxiong, W. Wanying, "Analysis of tire tread pattern's impact on interior vibration and noise based on wavelet transform" in Applied Mechanics and Materials 2011, 66, 68-3, 1755-1761.

6. J. Pang, T. Mao, W. Jia, X. Jia, P. Dai, H. Huang, "Prediction and Analysis of Vehicle Interior Road Noise Based on Mechanism and Data Series Modeling" in Sound & Vibration 2024, 58, 59-80.

7. Q. Zeng, H. Wang, L. Ji, S. Li, Y. Huang, "Road noise analysis and optimization research of vehicles based on wheel core loads," in Noise and Vibration Control 2020, 40(4), 183-189.

8. ISO/PAS 11819-4, 2013. Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 4: SPB method using backing board.

9. ISO/TS 13471-1, 2017. Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method.

10. ISO 11819-1, 1997. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method.

11. ISO 11819-2, 2017. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method.

12. ISO 1996-1, 2016. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures.

13. ISO 1996-2, 2017. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of sound pressure levels.

14. ISO 9613-1, 1993. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.

15. ISO 9613-2, 1996. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation. International Organization for Standardization.

16. K. Guido, T. Beckenbauer and H-P. Beyeler, "Continuous road traffic noise monitoring and aging of asphalt surfaces," INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Institute of Noise Control Engineering 2016, 253, 1.

17. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

18. World Health Organization, Home/Newsroom/Questions and answers/Deafness and hearing loss: Safe listening, <https://www.who.int/newsroom/questions-and-answers/item/deafness-and-hearing-loss-safe-listening>, last accessed 2023/05/05. Gomon, P. S., Polishchuk, M. V. (2022). Stress-strain state of wood beams with combined reinforcement at different load levels. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 17, 23-30. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-03)

Література

1. Смоляннюк Р.В., Грищенко Т.М., Колосовський В.А., Маляренко О.Ю., Костирко О.Ю. Вплив воєнних дій в Україні на стан транспортної інфраструктури. Збірник наукових праць 86-ї міжнародної наукової конференції студентів університету (Квітень, 2024), 146-150.

2. Yu. Lan, H. Roberts, M-P. Kwan, M. Helbich, "Transportation noise exposure and anxiety: a systematic review and meta-analysis," in Environ. Res., 2020, 191, 110118.

3. S. Khomenko, M. Cirach, J. Barrera-Gómez, E. Pereira-Barboza, T. Iungman, N. Mueller, M. Foraster, C. Tonne, M. Thondoo, C. Jephcote, J. Gulliver, J. Woodcock, M. Nieuwenhuijsen, "Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities" in A health impact assessment. Environment International 2022, 162.

4. H. Steven, "Investigations on noise emission of motor vehicles in road traffic," Final Report. Research project 2005, 200 54 135.
5. J. He, X. Jin, W. Wang, H. Jianfeng, J. Xiaoxiong, W. Wanying, "Analysis of tire tread pattern's impact on interior vibration and noise based on wavelet transform" in *Applied Mechanics and Materials* 2011, 66, 68-3, 1755-1761.
6. J. Pang, T. Mao, W. Jia, X. Jia, P. Dai, H. Huang, "Prediction and Analysis of Vehicle Interior Road Noise Based on Mechanism and Data Series Modeling" in *Sound & Vibration* 2024, 58, 59-80.
7. Q. Zeng, H. Wang, L. Ji, S. Li, Y. Huang, "Road noise analysis and optimization research of vehicles based on wheel core loads," in *Noise and Vibration Control* 2020, 40(4), 183-189.
8. ISO/PAS 11819-4, 2013. Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 4: SPB method using backing board.
9. ISO/TS 13471-1, 2017. Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method.
10. ISO 11819-1, 1997. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method.
11. ISO 11819-2, 2017. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method.
12. ISO 1996-1, 2016. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures.
13. ISO 1996-2, 2017. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of sound pressure levels.
14. ISO 9613-1, 1993. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
15. ISO 9613-2, 1996. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation. International Organization for Standardization.
16. K. Guido, T. Beckenbauer and H-P. Beyeler, "Continuous road traffic noise monitoring and aging of asphalt surfaces," INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Institute of Noise Control Engineering 2016, 253, 1.
17. DSN 3.3.6.037-99 Sanitary norms of industrial noise, ultrasound and infrasound
18. World Health Organization, Home/Newsroom/Questions and answers/Deafness and hearing loss: Safe listening, <https://www.who.int/newsroom/questions-and-answers/item/deafness-and-hearing-loss-safe-listening>, last accessed 2023/05/05. Gomon, P. S., Polishchuk, M. V. (2022). Stress-strain state of wood beams with combined reinforcement at different load levels. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 17, 23-30. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-03)

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 17.11.2025	Received in revised form 17.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

R. V. Smolianiuk

Ph.D., Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7087-7834>

Department of Construction and Operation of Highways named after O.K. Birulya
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudryho St., 25, Kharkiv,
Ukraine, 61002

N. V. Smolianiuk

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4254-8990>

Department of bridges, structures and building mechanics named after V. O. Rosiiskyi
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudryho St., 25, Kharkiv,
Ukraine, 61002

*corresponding author, e-mail: smalia@ukr.net

Mathematical increase of noise pollution from vehicle transport as a consequence of combat actions on the territory of Ukraine

How to Cite:

R. V. Smolianiuk, N. V. Smolianiuk (2025). Mathematical increase of noise pollution from vehicle transport as a consequence of combat actions on the territory of Ukraine. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 465-476. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-40](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-40)

Abstract. The military actions on the territory of Ukraine have significantly affected all aspects of life of Ukrainians including transport infrastructure. Motor roads of Ukraine have been significantly affected. The pavement and roadsides of many roads, as well as their subgrades, are significantly deformed due to the uncontrolled movement of heavy armored vehicles, both wheeled and tracked, the construction of military structures, mine laying, explosions and other reasons related to the war.

Roads are important logistical routes on which the country's economy heavily depends. For Ukraine, roads hold particular significance, as they are the main channels for supplying the army. The country's roads have been severely damaged. In many areas, the pavement, roadside and roadbeds have been significantly affected by the uncontrolled movement of heavy military vehicles, the construction of defensive structures, mine laying, explosions and also other reasons related to the armed conflict.

Even on those sections of the roads, where military actions did not take place directly, the road surface is significantly deformed due to the movement of heavy armored tracked vehicles. At this stage, it is difficult to estimate whether such a load has affected the durability of motor roads. However, it is already undeniable that the noise background around the motor roads has undergone significant changes. According to the research results presented in the article, the increase in noise levels on deformed road sections ranges from 10 to 22 dB, depending on the type of vehicle and speed. Therefore, the total noise background may exceed recommended values and affect people's health. The article examines the reasons for the increase in noise levels.

Keywords: frictional properties of payment, friction coefficient, payment texture, road payment.

УДК 69.04

К. В. Соколенко*

PhD, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3334-7855>

Кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, вул. Іоанна Павла II, 17,
м. Київ, Україна, 01042

*автор-кореспондент, e-mail: sokolenko@snu.edu.ua

Оптимізація поперечного перерізу сталевій зварної двотаврової балки за критерієм мінімальної потенціальної енергії деформації

Цитувати як:

Соколенко, К. В. (2025). Оптимізація поперечного перерізу сталевій зварної двотаврової балки за критерієм мінімальної потенціальної енергії деформації. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 477-492. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-41](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-41)

© 2025, Соколенко К. В.

У статті розглядається задача зниження матеріаломісткості сталевих зварних двотаврових балок шляхом оптимізації їх поперечного перерізу на основі критерію мінімуму потенційної енергії пружної деформації ($dU/dh = 0$), що накопичується в балці при згині. Аналітичне диференціювання цього критерію дозволило вивести безрозмірний конструктивний параметр k_d , що характеризує оптимальне співвідношення між площею стінки і площею поясу двотавра.

Оскільки прокатні двотаврові профілі розроблялися з метою забезпечення міцності та стійкості при дотриманні критеріїв економічності та технологічності ефективності, доцільно використати ці принципи для пошуку оптимального перерізу двотаврової балки. З цією метою у роботі введено коефіцієнт форми k_F , який характеризує геометричні пропорції перерізу – відношення висоти двотавра до ширини його поясу. На основі аналізу сортamentів прокатних профілів встановлено майже лінійну тенденцію зростання коефіцієнту зі збільшенням висоти балки.

Взаємозв'язок між коефіцієнтами k_d та k_F дозволяє застосовуючи їх для попереднього наближеного підбору двотаврового перерізу, що буде наближений до оптимального.

Для практичної реалізації розроблено чисельний ітераційний алгоритм оптимізації, який реалізує багатофакторний пошук раціональних розмірів поперечного перерізу (висоти, товщини стінки, товщини і ширини поясів) за умов мінімальної маси балки та виконання вимог міцності.

Аналіз результатів, отриманих алгоритмом, показав, що збільшення навантаження призводить до зменшення k_d та зростання маси балки, що дозволило отримати апроксимуючу залежність $k_d(q)$ у вигляді полінома n -'ятого ступеня і дозволяє використовувати отриману залежність в практичних розрахунках.

Алгоритм може бути використаний для створення програмних засобів автоматизованого проектування, побудови таблиць оптимальних параметрів і

розробки рекомендацій для стандартизації зварних профілів. Відзначається необхідність подальшого вдосконалення алгоритму для врахування стандартизованих розмірів листового прокату і забезпечення умов місцевої стійкості.

Ключові слова: оптимізація, двотаврова балка, потенційна енергія деформації, мінімальна маса, чисельне моделювання.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Визначення оптимальних розмірів двотаврових балок впливає на економічність конструкції і залежить від безлічі факторів, задоволення яких повинно забезпечити необхідну міцність, стійкість і жорсткість.

Очевидним є те, що більш високі навантаження вимагають більш розвинених поперечних перерізів балок, збільшуючи масу конструкції. У той же час, форма і габарити споруди можуть накладати обмеження на розміри перерізів.

На розміри поперечних перерізів балок можуть впливати, крім поперечного згину в основній силовій площині, інші силові фактори, що може вимагати їх врахування, і відповідно може вплинути на габарити поперечного перерізу конструкції.

Певний вплив можуть чинити і залишкові напруження, оскільки технологічні процеси виробництва двотаврових балок неминуче пов'язані зі зміною їх напруженого стану до прикладання зовнішніх навантажень [1].

На характеристики міцності балки впливає і матеріал балки – різні класи сталей мають різні характеристики, які впливають на оптимальні розміри балок [2].

Характеристики зварних з'єднань, а також технологічні особливості виконання зварних з'єднань потребують врахування, особливо при їх виконанні в монтажних умовах, оскільки вони можуть виявитися найслабшим елементом конструкції.

На розмір поперечних перерізів балок впливають і умови їх експлуатації. Так, для підвищення корозійної стійкості може знадобитися збільшення розмірів поперечного перерізу сталевих елементів.

Таким чином, перелік факторів, що визначають розміри поперечного перерізу двотаврової балки, є істотним. Чинні норми проектування сталевих конструкцій встановлюють мінімальні вимоги до розмірів елементів сталевих зварних балок виходячи із забезпечення їх міцності, стійкості та деформативності.

Для оптимізації зварних балок найбільш ефективним буде використання сучасних методів чисельного моделювання конструкцій, коли за допомогою оптимізаційних алгоритмів або ітераційних методів підбираються оптимальні розміри поперечних перерізів балки, які забезпечують необхідні характеристики при мінімальній вазі.

Питання, пов'язані з вивченням оптимального проектування сталевих конструкцій, і зокрема сталевих балок, розглядалися в роботах багатьох дослідників – Гордєєв В.М. [1], Пермяков В.О., Перельмутер А.В., Юрченко В.В. [3], Білик С.І. [4], Білик А.С. [5], Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., [6], Голоднов О.І. [7], Перетятко Ю.Г., Ляшенко І.Ю [8], Янін О.Є., Новікова С.М. [9].

Проте, незважаючи на проведені дослідження, пошук нових рішень у визначенні оптимальних розмірів сталевих балок з метою зниження ваги сталевих конструкцій залишається актуальним напрямком дослідження.

Мета і завдання дослідження. Мета статті полягає в розробці та верифікації методу оптимізації поперечного перерізу сталеві зварної двотаврової балки, заснованого на критерії мінімуму потенційної енергії пружної деформації ($dU/dh = 0$). Дослідження спрямовано на визначення раціональних геометричних параметрів (висоти, товщини стінки і поясів), що забезпечують максимальне використання несучої здатності при мінімальній масі конструкції.

Матеріали та методи

Дослідження виконано на основі аналітичного, чисельного та порівняльного методів.

У дослідженні використано аналітичні залежності для диференціювання за критерієм мінімуму потенційної енергії пружної деформації балки при згині ($dU/dh = 0$).

З метою використання принципів які були закладені при розробці прокатних профілів було проаналізовано геометричні розміри наведені в сортаментах прокатних двотаврових балок.

Оптимізацію виконано із застосуванням чисельного ітераційного алгоритму реалізованого мовою програмування *python*: для заданих значень погонного навантаження, гнучкості стінки та коефіцієнту k_A формувались комбінації параметрів перерізу (h , b_f , t_f , t_w), для яких обчислювались геометричні характеристики (момент інерції, момент опору) та маса балки. Цільовою функцією було мінімум маси при максимально можливому використанні несучої здатності.

Для апроксимації отриманих даних застосовано метод найменших квадратів із використанням функцій *polyfit* і *polyval* бібліотеки *NumPy* для мови програмування *python*.

Для верифікації алгоритму результат його роботи порівнювався з різними прикладами розрахунку головних балок наведених в навчальній та довідковій літературі.

Результати та обговорення

Поняття оптимальної висоти складеного двотаврового перерізу балки, що залежить від співвідношення параметрів стінки h_w/t_w , було

запропоновано В.М. Вахуркіним у вигляді мінімуму функції площі розрахункового перерізу у вигляді похідної $dA/dh = 0$ при фіксованій міцності сталі [10].

Пропонується встановити оптимальні розміри балки постійного перетину, виходячи з критерію мінімуму потенційної енергії пружної деформації $dU/dh = 0$, що накопичується в балці при згині, в результаті дії зовнішніх сил:

$$U = U_M + U_Q = \frac{1}{2EI} \int_0^l M^2 dx + \frac{\eta}{2GF} \int_0^l Q^2 dx \quad (1)$$

У даному випадку, складову впливу потенційної енергії зсуву U_Q не враховуємо, оскільки додатковий прогин, викликаний поперечними силами, як відомо, залежить від співвідношення (l/h) , і має істотне значення для порівняно коротких балок.

Підставивши відомі вирази для визначення згинального моменту в довільному перерізі шарнірно-опертої балки двотаврового перерізу, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням в рівняння (1), взявши першу похідну потенційної енергії по висоті стінки балки ($h \approx h_w$) і прирівнявши її до нуля, можна визначити оптимальну висоту перерізу балки:

$$\frac{dU}{dh_w} = - \frac{q^2 L^5 \left(3t_w h_w^2 + 12b_f t_f h_w + 12b_f t_f^2 \right)}{20E \left(t_w h_w^3 + 6b_f t_f h_w^2 + 12b_f t_f^2 h_w + 8b_f t_f^3 \right)^2} = 0 \quad (2)$$

Звідки визначаємо єдиний дійсний корінь приведенного рівняння:

$$h_w = - \frac{2t_f \left(b_f + \sqrt{b_f^2 - b_f t_w} \right)}{t_w} \quad (3)$$

Спростимо отриманий вираз (приймаючи $x = t_w / b_f$):

$$h_w = - \frac{2t_f \left(b_f + \sqrt{b_f^2 - b_f t_w} \right)}{t_w} = - \frac{2t_f}{t_w} b_f \left(1 + \sqrt{1-x} \right); \quad (4)$$

Розкладемо підкореневий вираз в степеневий ряд при $|x| < 1$:

$$\sqrt{1-x} = 1 - \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8} + O(x^3); \quad x \rightarrow 0 \quad (5)$$

Повертаємо значення для x та підставляємо (5) у вираз в дужках:

$$b_f \left(1 + \sqrt{1-x}\right) = \dots = 2b_f - \frac{t_w}{2} - \frac{t_w^2}{8b_f} + O\left(\frac{t_w^3}{b_f^2}\right) \quad (6)$$

Підставляємо в початковий вираз (4):

$$h_w = -\frac{4b_f t_f}{t_w} + t_f + \frac{t_f t_w}{4b_f} + O\left(\frac{t_f t_w^2}{b_f^2}\right) \quad (7)$$

Оскільки $b_f \gg t_f$, можемо залишити лише перший, головний член наближення, а інші члени вищих порядків малості (першого і вище), та константи (члени нульового порядку) з незначною похибкою (при $t_w/b_f = 0.05$, $\Delta \approx 1.28\%$), відкинути:

$$h_w = -\frac{4b_f t_f}{t_w} \quad (8)$$

З урахуванням того, що $A_w = h_w t_w$, $A_f = b_f t_f$, взявши по модулю отриманий вираз, можемо ввести безрозмірний конструктивний параметр двотавра, який характеризує оптимальне співвідношення між площею стінки та площею полочки двотавра:

$$k_A = \frac{h_w t_w}{b_f t_f} = \frac{A_w}{A_f} \quad (9)$$

Розробляючи конструктивне рішення двотаврової зварної балки, необхідно підібрати загальні раціональні розміри балки – її висоту та ширину, а також товщини поясів та стінки балки.

За цих умов, при проектуванні поперечних перерізів зварних балок доцільно використати принципи які були закладені при розробці сортаментів прокатних профілів, оскільки вони розроблялися з метою забезпечення міцності та стійкості при дотриманні критеріїв економічної та технологічної ефективності [11].

Для аналізу сортаментів прокатних двотаврових профілів введемо додатковий коефіцієнт, що враховує форму поперечного перерізу двотаврової балки як відношення висоти профілю до його ширини:

$$k_F = \frac{h}{b} \quad (10)$$

Взаємозв'язок між коефіцієнтами k_A та k_F можна визначити якщо прийняти $h \approx h_w$, $b = b_f$:

$$k_A = k_F \frac{t_w}{t_f} \quad (11)$$

Таким чином застосовуючи коефіцієнти k_A , k_F можливо виконати попередній наближений підбір двотаврового перерізу, що буде наближений до оптимального.

На рисунку 1 наведено результати розрахунків коефіцієнта k_F та його зміна із зростанням висоти профілю для двотаврових прокатних профілів за ДСТУ 8768:2018, типу IPN, IPE за DIN 1025 Euronorm 19-57 та за ГОСТ 26020-83.

Для апроксимації отриманих даних використовувалася лінійна регресія методом найменших квадратів, отримані залежності $k_F(h)$ зображені на відповідних графіках рисунку 1.

З аналізу наведених даних можливо зробити висновок, що коефіцієнт форми k_F зростає лінійно з висотою балки (для великих значень h).

Проаналізувавши отримані залежності можна визначити, що найменша ширина поясу балки відповідає залежності визначеній за даними сортаменту ДСТУ 8768:2018, найбільша – ГОСТ 26020-83. Для подальших обчислень обираємо залежність – $k_F(h) = 0.00141h + 1.739$, як основну.

Одним з найбільш раціональних оптимізаційних алгоритмів є метод послідовної апроксимації, який передбачає поетапне наближення на кожному кроці до оптимального рішення шляхом уточнення геометрії і параметрів балки. Прикладом може служити метод найменших квадратів, який використовує чисельні методи для визначення оптимальних параметрів, що мінімізують суму квадратів відхилень між дослідними значеннями і апроксимуючою лінією.

У рамках дослідження було розроблено чисельний алгоритм, що дозволяє знайти для заданого діапазону рівномірно розподіленого навантаження раціональні геометричні параметри перерізу зварної двотаврової балки, які задовольняють умову міцності та мінімізують масу балки.

Шляхом ітераційного розрахунку визначимо оптимальні параметри двотаврового перерізу перебираючи значення коефіцієнта k_A та гнучкості λ_w при різному навантаженні q .

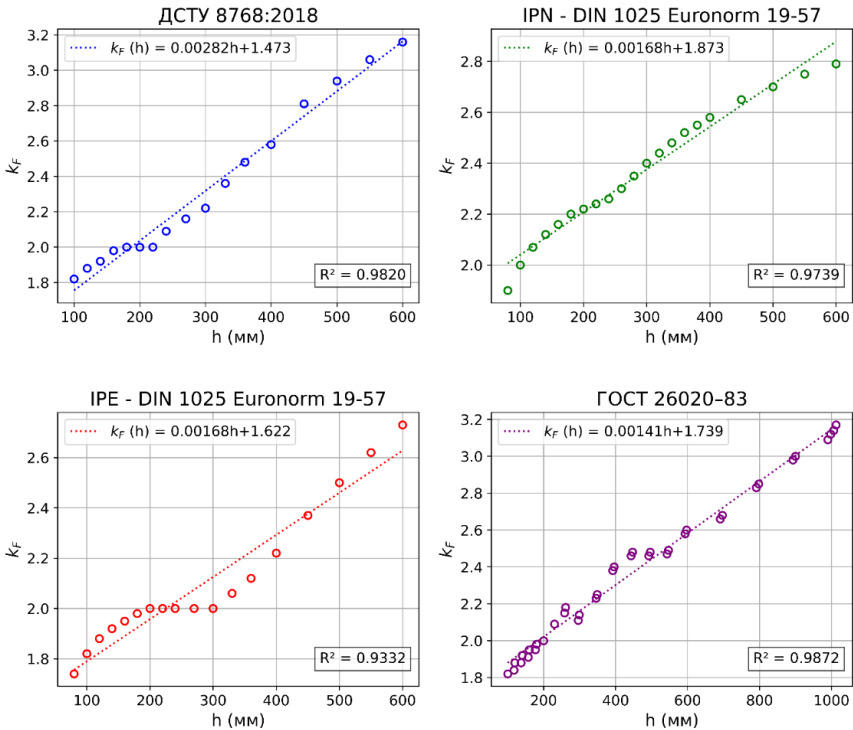


Рис. 1. Апроксимація отриманих даних лінійною залежністю

Для роботи ітераційного алгоритму значення товщини стінки будемо визначати за відомою емпіричною залежністю:

$$t_w = 3 + 7 \cdot h, \quad (12)$$

де h – висота балки в метрах.

Оптимальну висоту балки визначатимемо за формулою В.М. Вахуркіна [10]:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \lambda_{w,opt} W_{req}}, \quad (13)$$

де $\lambda_{w,opt}$ – гнучкість стінки балки; W_{req} – необхідний момент опору перерізу.

Товщина полочки визначатиметься з формули:

$$t_f = t_w \frac{k_F}{k_A} \quad (14)$$

У якості вихідних даних для роботи алгоритму слугують параметри: довжина балки L , розрахунковий опір матеріалу R_y , діапазон рівномірно-розподіленого навантаження q , на основі якої визначається згинальний момент M_x та необхідний момент опору $W_{x,req}$.

Далі реалізується подвійний цикл перебору можливих параметрів гнучкості $\lambda_{w,opt}$ та коефіцієнта k_A для кожної комбінації яких обчислюються геометричні розміри перерізу: оптимальна висота балки h_{opt} , товщина стінки t_w , товщина полиць t_f , ширина полиці b_f та ефективна висота стінки h_w . Таким чином формується теоретичний оптимальний двотавровий переріз.

Після цього визначається момент інерції I_x та коефіцієнт використання перерізу Δ – який характеризує відношення фактичної несучої здатності до розрахункової. Якщо $\Delta > 1$, ітерація алгоритму відкидається як така, що не відповідає вимогам міцності.

Якщо умова міцності ($\Delta \leq 1$) виконується, розраховується площа перерізу A_b та маса балки g_b . Критерієм оптимальності є мінімальне відхилення Δ від граничного значення ($\Delta \rightarrow 1$) при одночасному прагненні до зменшення маси ($g_b \rightarrow \min$).

Результат роботи алгоритму зберігається у вигляді масиву даних, що включає параметри оптимальної конфігурації для кожного навантаження. Приклад роботи алгоритму для наступних даних – $L = 16$ м, $R_y = 230$ МПа, $q \in [10, 200]$ (q із кроком 10), $\lambda_{w,opt} \in [120, 150]$, $k_A \in [1, 10]$ (k_A із кроком 0.01), наведено в таблиці 1, для більш дискретних значень q , результат роботи алгоритму наведений на рисунках 2 та 3.

Таблиця 1. Результат роботи ітераційного алгоритму

q , кН/м	$\lambda_{w,opt}$	k_F	k_A	t_w , мм	h_w , мм	t_f , мм	b_f , мм	A_b , см ²	W_x , см ³	g_b , т
10	139	2,67	5,09	9,0	652,5	4,7	247,7	82,0	1391	1,03
20	138	2,91	3,7	9,5	817,1	7,5	285,7	120,3	2783	1,51
30	145	3,10	3,36	9,9	950,0	9,2	311,9	151,2	4174	1,90
40	146	3,25	3,05	10,2	1046,5	10,9	329,2	178,3	5565	2,24
50	145	3,36	2,8	10,4	1123,0	12,5	341,9	202,9	6957	2,55
60	148	3,47	2,7	10,7	1200,8	13,7	353,9	225,5	8349	2,83
70	148	3,56	2,57	10,9	1262,9	15,1	363,0	246,9	9739	3,10
80	142	3,62	2,35	11,0	1299,5	16,9	368,4	267,8	11130	3,36
90	136	3,67	2,16	11,1	1329,3	18,8	372,8	288,1	12521	3,62

Продовження табл. 1

q , кН/м	$\lambda_{w,opt}$	k_F	k_A	t_w , мм	h_w , мм	t_f , мм	b_f , мм	A_b , см ²	W_x , см ³	g_b , т
100	150	3,80	2,34	11,4	1425,9	18,5	384,8	304,8	13915	3,83
110	124	3,74	1,84	11,3	1371,5	22,9	379,2	327,7	15304	4,12
120	123	3,79	1,78	11,4	1406,6	24,2	383,9	345,7	16695	4,34
130	150	3,99	2,17	11,8	1553,2	21,7	400,1	356,6	18087	4,48
140	137	3,98	1,92	11,8	1539,0	24,4	399,2	375,6	19477	4,72
150	149	4,10	2,07	12,0	1623,3	23,8	408,0	388,9	20869	4,89
160	126	4,02	1,69	11,8	1558,1	28,1	402,1	410,8	22259	5,16
170	123	4,04	1,62	11,9	1574,7	29,7	404,2	427,6	23656	5,37
180	124	4,09	1,61	12,0	1609,0	30,5	408,0	442,4	25047	5,56
190	137	4,22	1,77	12,3	1699,4	29,2	416,8	452,4	26435	5,68
200	145	4,31	1,86	12,5	1764,6	28,9	423,0	464,3	27827	5,83

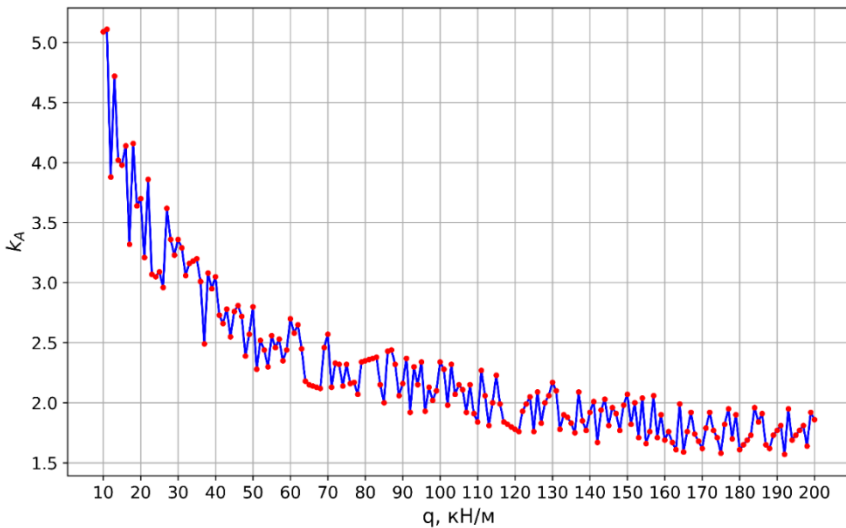


Рис. 2. Залежність коефіцієнту k_A зі зростанням навантаження q

Таким чином, алгоритм дозволяє здійснити багатофакторний пошук, що забезпечує системний підхід до вибору оптимальних параметрів балки з точки зору як міцності, так і матеріаломісткості.

Як можна бачити з даних таблиці 1 та рисунку 2 із збільшенням навантаження, значення коефіцієнту k_A зменшується. Для заданого набору

даних можливо виконати апроксимацію (регресію) графіка функції $k_A(q)$ поліномом n ступеня методом найменших квадратів.

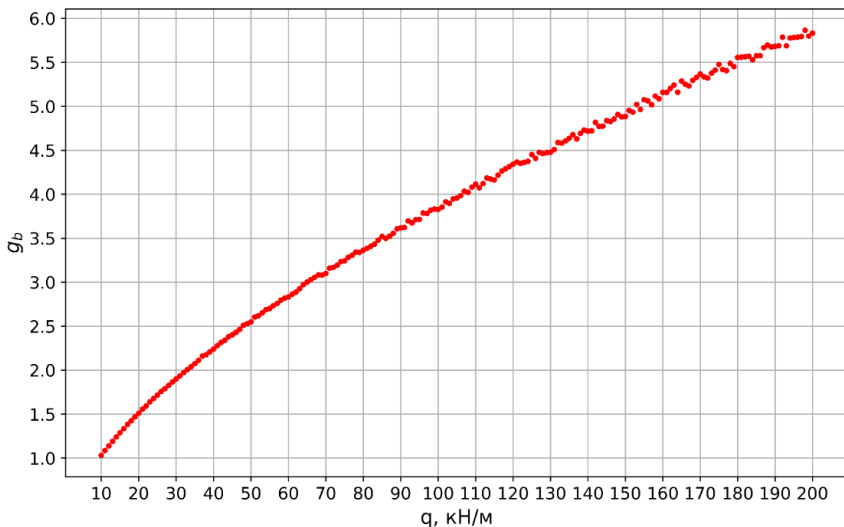


Рис. 3. Залежність ваги балки g_b зі зростанням навантаження q

Наведену функцію доцільно апроксимувати алгебраїчним поліномом п'ятого ступеня, у вигляді:

$$k_A(q) = a_5 q^5 + a_4 q^4 + a_3 q^3 + a_2 q^2 + a_1 q + a_0, \quad (15)$$

де a_i – коефіцієнти полінома, що підлягають визначенню, таким чином, щоб сума квадратів відхилень полінома $k_A(q)$ від значень k_A апроксимуючої функції в заданих точках була мінімальною.

Підбір коефіцієнтів здійснюємо за допомогою функції *numpy.polyfit*, яка визначає коефіцієнти полінома. Тоді поліноміальне рівняння функції $k_A(q)$ для балки довжиною 16 метрів, може бути записане у наступному вигляді:

$$k_A(q) = -1.468 \cdot 10^{-10} \cdot q^5 + 9.279 \cdot 10^{-8} \cdot q^4 - 2.238 \cdot 10^{-5} \cdot q^3 + 2.588 \cdot 10^{-3} \cdot q^2 + 1.506 \cdot 10^{-1} \cdot q + 5.874 \quad (16)$$

Визначений поліном дозволяє сформувати згладжену апроксимуючу криву $k_A(q)$ (рисунок 4). Аналогічно можуть бути побудовані апроксимуючі функції для різних вхідних даних.

Для оцінки точності моделі було розраховано коефіцієнт детермінації R^2 , який відображає, наскільки побудована модель відображає варіацію вихідних даних; середньоквадратична похибка (RMSE) – відображає середню відстань між апроксимованими та фактичними значеннями. Високе значення R^2 у поєднанні з відносно низьким значенням RMSE в цьому випадку свідчить про те, що обрана модель добре узгоджується з експериментальними даними.

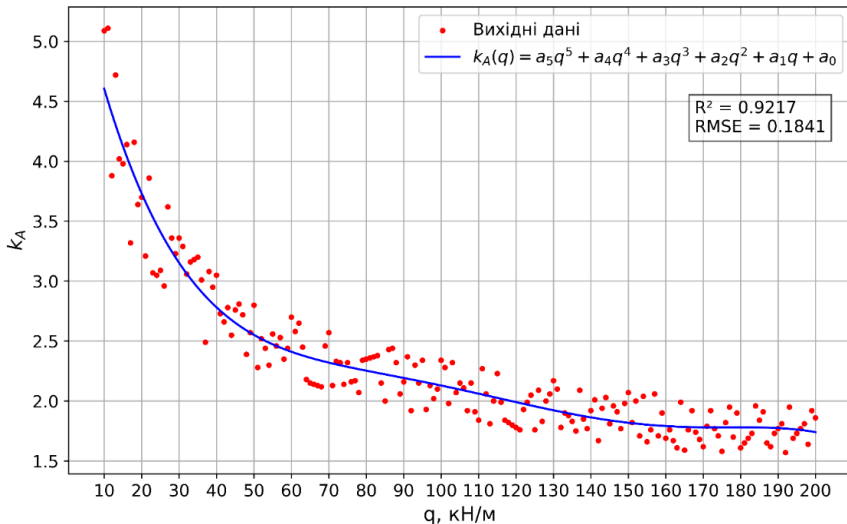


Рис. 4. Апроксимована функція $k_A(q)$

Для верифікації алгоритму порівняємо результат його роботи з різними прикладами (I-IV) розрахунку головних балок наведених в навчальній та довідковій літературі [12, с. 77; 6, с. 217; 13, с. 95; 14, с. 100].

В таблиці 2 наведено порівняння результатів роботи алгоритму (графа б) з результатами отриманими за традиційною методикою (графа а).

Порівнюючи дані наведені в таблиці, можна зробити висновок, що результат роботи алгоритму дозволяє швидко та точно підібрати орієнтовні розміри елементів двотаврового перерізу, близьких до оптимальних, що відповідають умові міцності, та мінімальній вазі балки. Звісно, отримані результати потребують узгодження із сортаментом розмірів сталевих листів, врахування умов забезпечення місцевої стійкості, що ставить задачу удосконалення роботи алгоритму та необхідність проведення подальших досліджень.

Таблиця 2. Порівняння результатів роботи ітераційного алгоритму

Параметри	I		II		III		IV	
	a	b	a	b	a	b	a	b
L , м	18		12		9		12	
q , кН/м	176.3		189		137		203	
R_y , МПа	230		240		230		215	
γ_c	1.1		1.1		1		1.1	
λ_w	128	129	139	125	86	140	103	128
d	3.292	4.222	3.16	3.631	3	3.266	3.225	3.765
k_A	2.05	1.63	1.93	1.95	1.433	2.82	1.488	1.9
t_w , мм	14	12.3	10	11	10	10.2	12	11.3
h_w , мм	1800	1697.4	1390	1300.8	860	1058.2	1240	1392
t_f , мм	22	31.8	16	20.5	20	11.9	25	22.4
b_f , мм	560	417.1	450	369.6	300	331.4	400	381.6
A_b , см ²	498.4	473.886	283	295.165	206	187.042	348.8	328.516
W_x , см ³	29559	28218.9	13157	12886.9	6350	6030.8	15360	15449.6
g_b , т	7.042	6.696	2.666	2.78	1.455	1.321	3.286	3.095
Δg , %	100	95.08	100	104.27	100	90.79	100	94.19
$\Delta \sigma$, %	95.5	100	98.1	100	95.22	100	100.42	100

Висновки

Оптимізація параметрів сталевих конструкцій є важливою задачею сучасного будівельного проектування, адже вона безпосередньо впливає на економічну ефективність будівництва. Зменшення маси елементів дозволяє суттєво скоротити витрати на закупівлю матеріалів, виготовлення, транспортування та монтаж конструкцій.

В роботі розглянуто задача оптимізації розмірів зварних двотаврових балок виходячи з критерію мінімуму потенційної енергії пружної деформації, в результаті диференціювання якого було отримано аналітичний вираз для коефіцієнта форми двотаврового перерізу, що характеризує оптимальне співвідношення між площею стінки та поясу балки.

В процесі дослідження було розроблено алгоритм, що дозволяє знайти для заданого діапазону навантаження, раціональні параметри перерізу зварної двотаврової балки за умови забезпечення її міцності та мінімальної маси. Результат роботи алгоритму дозволяє використовувати його безпосередньо для вирішення практичних задач підбору оптимального перерізу, так і формування табличних даних, апроксимаційних функцій для

швидкого й точного визначення оптимальних розмірів двотаврового перерізу.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Gordeev V. N. Jelementarnye zadachi optimizacii dvutavra. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho naukovo-doslidnoho ta proektnoho instytutu stalevykh konstruktstii imeni V.M. Shymanovskoho*. 2009. No. 3. P. 27–48. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_3_6 (date of access: 09.10.2025).
2. Golodnov A. I., Fomina I. P. K opredeleniju optimal'nyh parametrov stal'nyh dvutavrovych balok. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho instytutu stalevykh konstruktstii imeni V. M. Shymanovskoho*. 2014. No. 14. P. 95–104. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2014_14_11 (дата звернення: 09.10.2025).
3. Perel'muter A. V., Permjakov V. A., Jurchenko V. V. Optimal'noe proektirovanie stal'nyh sterzhnevych konstrukcij. Kiev : TOV «Izdatel'stvo «Stal'», 2008. 538 s.
4. Bilyk S. I. Metodyka vyznachennia optymalnoi vysoty ctalevoi dvotavrovoy balky zi zminnym pererizom stinky pry rozvytku obmezhenykh plastychnykh deformatsii. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho instytutu stalevykh konstruktstii imeni V. M. Shymanovskoho*. 2012. No. 9. P. 28–33. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2012_9_5 (date of access: 09.10.2025).
5. Optimal height of steel I-beams with changing the width of the flanges / A. Bilyk et al. *Building constructions. Theory and Practice*. 2022. No. 12. P. 42–52. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.42-52> (date of access: 09.10.2025).
6. Nilov O.O., Permiakov V.O., Shymanovskyi O.V. ta in. *Metalevi konstruktstii*. 2-he vyd. Kyiv : Stal, 2010. 869 s.
7. Lapenko A. I., Golodnov A. I., Fomina I. P. Podbor optimal'nyh po rashodu stali sechenij svarnykh dvutavrovych balok. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi*

akademii zaliznychnoho transportu. 2015. Vol. 151, No. 2. P. 135–139. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2015_151\(2\)_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2015_151(2)_22) (date of access: 09.10.2025).

8. Arrangement of effective section of I-beam / Peretyatko Yu.G., Lyashenko I.Yu. *Scientific Bulletin of Construction*. 2021. Vol. 103, No. 1. P. 155–162. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/44/44> (date of access: 09.10.2025).

9. Yanin O. Ye., Novikova S. M. Optymizatsiia vysoty stalevoi zvarnoi dvutavrovoi balky na diliankakh bilia opor. *Suchasni budivelni konstruksii z metalu ta derevyny*. 2020. No. 24. P. 149–158. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sskmd_2020_24_19 (date of access: 09.10.2025).

10. Vahurkin V. M. Naivygodnejschaja forma dvutavrovyyh balok. *Bulleten' stroitel'noj tehniki*. 1949. No. 21. P. 3–8.

11. Bilyk A. S., Vdovkin O. O. Metodolohiia pobudovy sortamentu dlia DSTU «Dvotavry stalevi zvarni. Tekhnichni vymohy ta sortament». *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. 2021. No. 27-28. P. 73–94. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2021_27-28_6 (date of access: 09.10.2025).

12. Metalevi konstruksii / red. F. Ye. Klymenko. 2-he vyd. Lviv : Svit, 2002. 312 s.

13. Mandrikov A. P. Raschet stal'nyh konstrukcij. 2-e izd., pererab. i dop. Moskva : Stroijzdat, 1991. 431 s.

14. Lihtarnikov Ja. M., Ladyzhenskij D. V., Klykov V. M. Raschet stal'nyh konstrukcij. 2-e izd., pererab. i dop. Kiev : Budivel'nik, 1984. 368 s.

Література

1. Гордеев В. Н. Элементарные задачи оптимизации двутавра. *Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. 2009. № 3. С. 27–48. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_3_6 (дата звернення: 09.10.2025).

2. Голоднов А. И., Фомина И. П. К определению оптимальных параметров стальных двутавровых балок. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. 2014. № 14. С. 95–104. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2014_14_11 (дата звернення: 09.10.2025).

3. Перельмутер А. В., Пермяков В. А., Юрченко В. В. Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций. Киев : ТОВ «Издательство «Сталь», 2008. 538 с.

4. Білик С. І. Методика визначення оптимальної висоти сталеві двотаврової балки зі змінним перерізом стінки при розвитку обмежених пластичних деформацій. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. 2012. № 9. С. 28–33. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2012_9_5 (дата звернення: 09.10.2025).

5. Білик А.С., Білик С.І., Глітін О.Б., Джанов Л.В. Оптимальна висота сталевих двотаврових балок зі змінною шириною полиць. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2022. №12. С. 42–52. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.42-52> (дата звернення: 09.10.2025).
6. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В. та ін. *Металеві конструкції*. 2-ге вид. Київ : Сталь, 2010. 869 с.
7. Лапенко А. И., Голоднов А. И., Фомина И. П. Подбор оптимальных по расходу стали сечений сварных двутавровых балок. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2015. Т. 151, № 2. С. 135–139. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2015_151\(2\)_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2015_151(2)_22) (дата звернення: 09.10.2025).
8. Перетятко Ю. Г., Ляшенко І. Ю. Компонування ефективного перерізу двотаврової балки. *Науковий вісник будівництва*. 2021. Т. 103, № 1. С. 155–162. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/44/44> (дата звернення: 09.10.2025).
9. Янін О. С., Новікова С. М. Оптимізація висоти сталевій зварної двотаврової балки на ділянках біля опор. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. 2020. № 24. С. 149–158. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sskmd_2020_24_19 (дата звернення: 09.10.2025).
10. Вахуркин В. М. Наивыгоднейшая форма двутавровых балок. *Бюллетень строительной техники*. 1949. № 21. С. 3–8.
11. Білик А. С., Вдовкін О. О. Методологія побудови сортаменту для ДСТУ «Двутаври сталеві зварні. Технічні вимоги та сортамент». *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. 2021. № 27-28. С. 73–94. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2021_27-28_6 (дата звернення: 09.10.2025).
12. *Металеві конструкції* / ред. Ф. Є. Клименко. 2-ге вид. Львів : Світ, 2002. 312 с.
13. Мандриков А. П. Расчет стальных конструкций. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Стройиздат, 1991. 431 с.
14. Лихтарников Я. М., Ладыженский Д. В., Клыков В. М. Расчет стальных конструкций. 2-е изд., перераб. и доп. Киев : Будівельник, 1984. 368 с.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 14.11.2025	Received in revised form 14.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

K. V. Sokolenko*

PhD, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3334-7855>

Department of civil engineering, urbanism and spatial planning

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 17 Ioanna Pavla Druhoho St., Kyiv, Ukraine, 01042

*corresponding author, e-mail: sokolenko@snu.edu.ua

Optimization of the cross-section of a steel welded I-beam according to the criterion of minimum potential strain energy

How to Cite:

Sokolenko, K. V. (2025). Optimization of the cross-section of a steel welded I-beam according to the criterion of minimum potential strain energy. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 477-492. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-41](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-41)

Abstract. The article considers the problem of reducing the material consumption of steel welded I-beams by optimizing their cross-section based on the criterion of minimum potential energy of elastic deformation ($dU/dh = 0$) accumulated in the beam during bending. Analytical differentiation of this criterion made it possible to derive a dimensionless design parameter k_A , which characterizes the optimal ratio between the wall area and the flange area of the I-beam.

Since rolled I-beam profiles were developed to ensure strength and stability while meeting criteria of economic and technological efficiency, it is advisable to use these principles to find the optimal cross-section of an I-beam. For this purpose, the shape coefficient k_F is introduced in the work, which characterizes the geometric proportions of the cross-section – the ratio of the height of the I-beam to the width of its flange. Based on the analysis of rolled profile assortments, an almost linear trend of the coefficient increase with the increase in beam height has been established.

The relationship between the coefficients k_A and k_F allows them to be used for preliminary approximate selection of an I-beam cross-section that will be close to the optimal one.

For practical implementation, a numerical iterative optimization algorithm has been developed that implements a multifactorial search for rational cross-sectional dimensions (height, wall thickness, thickness and width of flanges) under conditions of minimum beam weight and compliance with strength requirements.

Analysis of the results obtained by the algorithm showed that an increase in load leads to a decrease in k_A and an increase in beam weight, which made it possible to obtain an approximate dependence $k_A(q)$ in the form of a fifth-degree polynomial and allows the obtained dependence to be used in practical calculations.

The algorithm can be used to create software tools for automated design, build tables of optimal parameters, and develop recommendations for the standardization of welded profiles. There is a need for further improvement of the algorithm to take into account the standardized dimensions of rolled sheet metal and ensure local stability conditions.

Keywords: optimization, I-beam, potential deformation energy, minimum weight, numerical modeling.

УДК 711.551:697.347

В. М. Соколенко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5073-2694>

Кафедра Будівництва, урбаністики та просторового планування

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, Україна, 01042

К. В. Соколенко

PhD, ст. викл., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3334-7855>

Кафедра Будівництва, урбаністики та просторового планування

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, Україна, 01042

О.Ю. Коліушко

магістр, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4398-2933>

Кафедра Будівництва, урбаністики та просторового планування

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, Україна, 01042

П.М. Герасим

магістр, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1440-6834>

Кафедра Будівництва, урбаністики та просторового планування

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, Україна, 01042

*автор-кореспондент, e-mail: 13wms13@ukr.net

Дослідження роботи теплоізоляції одношарової системи на етапі життєвого циклу промислового об'єкта

Цитувати як:

Соколенко, В. М., Соколенко, К. В., Коліушко, О.Ю., Герасим, П.М. (2025). Дослідження роботи теплоізоляції одношарової системи на етапі життєвого циклу промислового об'єкта. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 493-504. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-42](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-42)

© 2025, Соколенко В. М., Соколенко К. В., Коліушко О.Ю., Герасим П.М.

Розглядається проблема ефективності зовнішнього огородження промислового об'єкта з металевим каркасом і одношаровою системою стін. Виявляються та аналізуються недосконалі рішення щодо огорожувальних конструкцій, що виникли через проектні, організаційні та будівельні фактори. Проведено кількісну оцінку характеру одношарової огорожувальної конструкції та виявлено характерного теплового містку вузла, визначено його вплив на середній коефіцієнт теплопередачі U фасаду, ризики конденсації та річні енерговитрати. Сформульовано практичні рекомендації щодо локальної реконструкції фасаду.

Проаналізовано комплекс факторів, що впливають на максимальний термін експлуатації будівлі, зокрема, локальне проникнення вологи в утеплювач, корозію металевих елементів, пошкодження декоративно-захисних покриттів. Довгострокові негативні наслідки без реагування та локальної реконструкції

фасаду призводять до скорочення фактичного терміну експлуатації фасадної оболонки з розрахункових 30–35 років до 20–25 років, збільшення загальних експлуатаційних витрат за 10 років на 15–20 %. На підставі виконаного теплотехнічного аналізу вузлів, розрахунку коефіцієнта теплопередачі та виявлених дефектів експлуатації огорожувальних конструкцій сформовано комплекс рекомендацій, спрямованих на усунення негативних наслідків та підвищення надійності промислової будівлі, зокрема: локальна реконструкція фасадів з установкою теплових розривів (ізоляційних блоків) у прольотах, дублювання теплоізоляції внутрішнім шаром 50–80 мм з суцільною пароізоляцією, герметизація швів; перехід на сендвіч-панелі; діагностика; розробка вимог до монтажу; проектно-нормативна підтримка. Впровадження цих рекомендацій підвищує надійність і ремонтпридатність конструкцій, знижує експлуатаційні витрати протягом усього життєвого циклу та подовжує фактичний термін служби фасадних систем.

Ключові слова: теплотехнічний розрахунок, локальна реконструкція фасадів, тепла модернізація будівель, утеплення фасадів, металевий каркас, одношарова стінова система.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. У промислових будівлях каркасного типу оболонки зі стінових профільованих листів з прошарком мінеральної вати часто проектують і монтують за «типовими» схемами. Найчастіші похибки – недооцінка повторюваних та точкових теплових містків (прогони/рейки, наскрізні самонарізні гвинти, стики), стискання й усадка м'якої вати, розриви пароізоляції та повітронепроникного контуру. У підсумку розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі стіни U зростає, а локальні зони у місцях кріплень і прогонів охолоджуються до температури точки роси, що призводить до конденсації, корозії обшивки та додаткових енерговтрат. Такі ефекти прямо враховуються міжнародними методиками ISO 6946 (теплотехнічні розрахунки) та ISO 13788 (оцінка ризику поверхневої та міжшарової конденсації) [1]. У статті наведено результати обстеження та теплотехнічного аналізу промислових будівель F-1 та F-3 «Індустріального парку «Біла Церква». Фокус дослідження – вузол ХК281-А кріплення профільованого листа LPA900 до горизонтального прогону, де під дією кріплень відбувається локальне стискання м'якого скловолна[2].

У сучасній українській практиці реконструкції та модернізації будівель наголошується на необхідності врахування всіх стадій життєвого циклу [3], однак вимоги до ремонтпридатності й реконструкції часто нормуються формально[4,5]. Концепція надійності будівель базується на методі граничних станів та коефіцієнтах надійності за навантаженнями й матеріалами; експлуатаційна придатність огорожень визначається також критеріями теплозахисту та вологості. Проблематика реконструкції та теплової модернізації будівель та споруд є фокусом досліджень значної

групи вітчизняних науковців. Україна має великий досвід модернізації та відновлення промислових об'єктів, міської забудови. Накопичений досвід систематизовано у державних будівельних нормах [6-9]. Технічний прогрес, вимоги економії підтримують науково-практичні дослідження в цьому напрямку.

Мета статті. визначити умови та чинники, що призвели до негативного результату на етапі зведення та експлуатації промислової будівлі з індустріальним сталевим каркасом.

Відповідно до поставленої мети вирішуються наступні завдання:

Систематизація негативних випадків теплової модернізації будівель;

Визначення та аналіз дефектних рішень огорожуючих конструкцій що виникли за рахунок конструктивних та організаційно-будівельних чинників;

Розробити проектно-технологічні рішення щодо усунення дефекту, рекомендувати умови та обмеження, що сприятимуть унеможливленню подібних будівельних прорахунків та наслідків у майбутньому.

Матеріали та методи

У роботі використовуються методи системного аналізу, математичне моделювання, інформаційно аналітичні методи.

Інформаційну базу складають довідково-технічні та літературні джерела, проектні матеріали.

Результати та обговорення

Після початку повномасштабної війни один з виробників харчової продукції здійснив релокацію з м. Харків до Індустріального парку «Біла Церква» [10-11]. Як виробничі будівлі обрано корпуси F-1 (Цех з виробництва електротехнічної продукції літ. «Л-2») та F-3 (рис.1), які у вихідному стані відповідають вимогам індустріальних сталевих каркасів виробництва компанії Astron (EN 10025-2, S355J2; болтові з'єднання класу 10.9) та оснащені одношаровими стіновими системами з профільованого листа.

У процесі 2022–2023 рр. виконано внутрішні ремонтно-будівельні роботи, монтаж технологічного обладнання, систем ОВК, електротехнічних та сантехнічних мереж. На етапі першого року експлуатації в осінньо-зимовий період зафіксовано надмірні тепловтрати й локальне зволоження фасадів у зоні кріплень профільованих листів.

Практика монтажу одношарової стінової системи показала, що у місцях кріплення профільованого листа до прогонів відбувається зминання волокнистого утеплювача, втрата його товщини та переривання континуальності теплоізоляції (порушення цілісності шару теплоізоляції в огорожувальних конструкціях будівлі стінах, покрівлі, перекриттях тощо), внаслідок чого утворюються так звані «містки холоду».



Рис. 1. Генеральний план – а, та загальний вигляд промислової будівлі F-1 «Індустріального парку «Біла Церква» - б.

Каркас будівель – сталеві рами виробництва компанії Astron (Люксембург) із прогонами стін і покриття, без вертикальних зв'язків між колонами, що забезпечує вільне планування. Огороджувальні конструкції стін – одношарова система на основі профільованого листа LPA900 з внутрішнім волокнистим утеплювачем INF 100 мм та паро-/вітрозахисними шарами внутрішнього простору будівлі (рис.2). Слабке місце вузла – лінія прогону, вузол ХК281-А та подібні вузли (рис. 3), де скловолокно локально стискається кріпленнями до товщини ~29 мм, що змінює теплотехнічні параметри вузла.

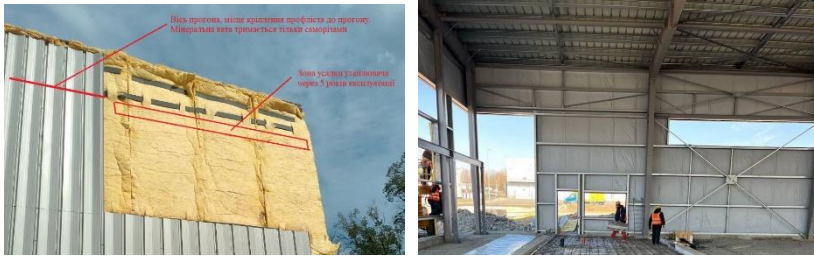


Рис. 2. Фото конструкції одношарової системи профільованого листа LPA900 з внутрішнім волокнистим утеплювачем INF 100 мм.



Рис. 3 Схема вузла ХК281-А кріплення профільованого листа до металевого прогону каркасу будівлі.

З метою аналізу задля виправлення дефектного рішення, було кількісно оцінено характер роботи огорожувачої одношарової конструкції, та зокрема формування виявленого теплового містка вузла ХК281-А, визначено його вплив на середній коефіцієнт теплопередачі U фасаду, ризики конденсації, річні енергетичні втрати і сформовано практичні рекомендації з локальної реконструкції фасаду.

Для огорожувальних конструкцій промислових будівель у нашому регіоні типові нормативні вимоги до опору теплопередачі $R_{req} \approx 1.7 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (за вихідними даними попередніх розрахунків для об'єкта), що передбачає застосування безперервного теплоізоляційного шару та мінімізацію містків холоду [1,6].

Розрахунок опору теплопередачі огорожувальних конструкцій проведено за класичною формулою теплотехнічного розрахунку опору теплопередачі багатшарових огорожувальних конструкцій [1,6], яка застосовується в усіх нормативних документах (ДБН, ДСТУ, EN, ISO):

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \left(\frac{d_i}{\lambda_i} \right) + R_{se}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (1)$$

де: U — коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

R_{si} — опір теплопередачі з боку внутрішнього повітря, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

R_{se} — опір теплопередачі з боку зовнішнього повітря, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

d_i — товщина i -го шару конструкції, м;

λ_i — коефіцієнт теплопровідності матеріалу, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Для розрахунку прийнято наступні параметри:

- $\lambda_{\text{вату}} = 0,040$ — для мінераловатного утеплювача, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- $R_{si} = 0,13$ — внутрішній опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;
- $R_{se} = 0,04$ — зовнішній опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

При товщині утеплювача $d_{\text{вату}} = 100$:

$$R_{I\Sigma} = 0,1 \times 0,040 = 2,50 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (2)$$

Повний термічний опір для огорожувальної конструкції:

$$U_1 = \frac{1}{0,13 + 2,5 + 0,04} = 0,375, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (3)$$

Для вузла ХК281-А, де зменшення товщини утеплювача до $d = 29$ мм:

$$R_{2\Sigma} = 0,029 \times 0,040 = 0,725 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (4)$$

Повний термічний опір для зони зменшення товщини вузла ХК281-А:

$$U_2 = \frac{1}{0,13 + 0,725 + 0,04} = 1,117, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (5)$$

Тобто опір теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідає базовим вимогам ($U_1 = 0,375 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$), однак у місцях переривання теплоізоляції вздовж прогонів спостерігається суттєве зростання теплопередачі — $U_2 = 1,117 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що підтверджує наявність «теплових містків» та пояснює втрати тепла і ризики конденсації.

Локальні містки холоду зумовлюють зниження внутрішньої температури поверхні, появу конденсату та мікробіологічного ураження, корозію кріплень і сталевих елементів вторинного каркаса, деградацію волокнистого утеплювача (втрата товщини, усадка, зменшення термічного опору R). Це знижує експлуатаційну придатність огорожень і підвищує ризики з точки зору надійності за другою групою граничних станів (теплозахист, вологісний режим, довговічність) [12].

Вплив на граничний термін експлуатації здійснює сукупність чинників, серед яких слід виокремити:

Локальне зволоження утеплювача. У місцях зниження товщини утеплювача до 29 мм коефіцієнт теплопередачі зростає утричі ($U_2 = 1,117$

Вт/м²·К проти $U_i = 0,375$). Це призводить до зниження температури внутрішньої поверхні до $\sim 13,7$ °С, що відповідає зоні ризику конденсації. Волога у волокнистому утеплювачі збільшує λ , погіршує теплотехнічні характеристики та пришвидшує його руйнування.

Корозія металевих елементів. Періодичне зволоження в зоні прогонів створює умови для корозії оцинкованих профілів і кріплень. Це зменшує залишкову несучу здатність каркаса та скорочує граничний термін експлуатації на 10–15 % від проектного.

Порушення декоративного та захисних покриттів. Намокання й обмерзання призводить до появи плям, здуття фарби, відшарування лакофарбового шару, що вимагає частішого ремонту фасаду.

Витрати для підтримання мікроклімату складають компоненти:

Енергетичні витрати. Через додаткові тепловтрати $\Delta U \approx 0,74$ Вт/(м²·К) у смузі прогонів сезонні втрати сягають $\sim 12,3$ МВт·год. Це відповідає $\approx 1,3$ тис. м³ природного газу для корпусу підприємства.

Перевантаження систем опалення вентиляції та кондиціонування. Для збереження необхідної температури в цехах системи опалення, вентиляції та кондиціонування працюють з підвищеним навантаженням, що призводить до швидшого зносу обладнання та зростання витрат на технічне обслуговування.

Мікроклімат і якість продукції. У харчовій промисловості нестабільність температурно-вологісного режиму впливає на умови виробництва та зберігання продукції. Конденсат може створити ризик мікробіологічного забруднення, що несумісне з вимогами стандартів IFS/BRC.

Довгострокові негативні наслідки без реагування та локальної реконструкції фасаду призводять до зменшення реального терміну служби фасадної оболонки з розрахункових 30–35 років до 20–25 років без проведення модернізації; зростання сумарних експлуатаційних витрат упродовж 10 років на 15–20 % (додаткові енерговтрати, ремонти, заміна кородованих вузлів) підвищення ризику аварійних ситуацій: намокання утеплювача з подальшим промерзанням створює внутрішні напруження та тріщини, що може потребувати локальної реконструкції.

Для прийняття обґрунтованого та економічно зваженого рішення по усуненню вище зазначеного недоліку, потрібно проведення аналізу виявлених відхилень теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій від нормативних вимог. Результати теплотехнічного розрахунку та натурних обстежень показали суттєве зростання коефіцієнта теплопередачі у зонах переривання теплоізоляційного шару, що підтверджує наявність «теплових містків». Це явище призводить до локального зниження температури внутрішніх поверхонь, ризику конденсації та передчасної деградації утеплювача, а також підвищення

експлуатаційних витрат на підтримання мікроклімату у виробничих приміщеннях.

Відповідно до положень ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» та ДСТУ EN ISO 6946:2019, проектувальник та експлуатуюча організація зобов'язані забезпечити нормативний рівень опору теплопередачі та відсутність ризику конденсації у шарі конструкцій [1,6]. Порушення теплотехнічної однорідності оболонки будівлі суперечить цим вимогам і ставить під загрозу не лише енергоефективність, а й граничний термін експлуатації конструкцій.

Тому аналіз причин виникнення дефекту та формування рекомендацій є обов'язковим етапом для:

- встановлення джерела проблеми (проектні, технологічні чи організаційні чинники);

- обґрунтування заходів усунення (локальна реконструкція, заміна системи огороження, впровадження додаткових шарів утеплення чи ізоблоків);

- підвищення надійності та довговічності будівлі за рахунок запобігання повторному виникненню дефектів у процесі експлуатації;

- зменшення експлуатаційних витрат на опалення, вентиляцію й підтримання нормативного мікроклімату у виробничих приміщеннях;

- забезпечення відповідності міжнародним стандартам у харчовій галузі (IFS, BRC), де вимоги до температурно-вологісного режиму є критичними для безпечності продукції.

При аналізі проекту «Будівництво цеху з виробництва електротехнічної продукції на території промислового майданчика по вул. Леваневського № 66-а, м. Біла Церква (в межах Шкарівської сільської ради), розробленого ТОВ «Архітектурно-Конструкторське Бюро «Віхарев» [13], проекту організації будівельних робіт та актів виконаних будівельних робіт, встановлені такі причини виникнення дефекту, а саме:

- проектні – відсутність безперервного теплоізоляційного шару в зоні прогону, недостатнє врахування впливу кріплень та стиснення вати.

- технологічні – неповне заповнення/ущільнення утеплювача, порушення пароізоляції, дефекти примикань.

- управлінські – відсутність переліку контрольних операцій при монтажі та вхідного контролю матеріалів, непередбачені карти вузлів для локального виправлення дефектів.

На підставі виконаного теплотехнічного аналізу вузлів, розрахунку коефіцієнта теплопередачі та виявлених дефектів експлуатації огорожувальних конструкцій сформовано комплекс рекомендацій, спрямованих на усунення негативних наслідків та підвищення надійності промислової будівлі:

1. Локальна реконструкція фасадів: установлення терморозривів (ізоблоків) у лініях прогонів; дублювання теплоізоляції внутрішнім шаром 50–80 мм із безперервною пароізоляцією; герметизація стиків.

2. Перехід на сендвіч-панелі (мінеральна вата 120–140 мм або PUR/PIR) у найбільш відповідальних фасадних зонах для гарантованого досягнення нормативного R та повної відсутності лінійних містків.

3. Діагностика: тепловізійне обстеження у проєктний мороз (нічний час), контроль вологості в товщі утеплювача, перевірка герметичності пароізоляції й повітропроникності огорожень (blower-door, локальні димові тести).

4. Вимоги до монтажу: застосування карт операцій, поетапний фото-контроль, зберігання теплоізоляції, виконання швів і примикань за інструкціями виробників, випробування вибіркового вузлів.

5. Проєктно-нормативний супровід: актуалізація теплотехнічних розрахунків на стадії «РД» з урахуванням вузлів; порівняння варіантів (single-skin + ізоблоки vs сендвіч-панелі) за життєвим циклом не менше 50 років (ДСТУ Б ISO 15686 (частини 1–5) «Будівлі та споруди. Планування терміну служби») [5].

Можна зробити висновок, що виявлені відхилення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій мають комплексний характер і обумовлені поєднанням проєктних, технологічних та організаційно-управлінських чинників. Наявність лінійних «теплових містків» у вузлах типу ХК281-А призводить до зростання коефіцієнта теплопередачі до 1,117 Вт/(м²·К), що майже утричі перевищує значення у польовій зоні (0,375 Вт/(м²·К)) та безпосередньо впливає на енергоефективність будівлі, довговічність фасадної оболонки й стабільність мікроклімату у виробничих приміщеннях.

Висновки

Встановлено, що у лінії прогону фактична товщина волокнистого утеплювача зменшується до 29 мм, що формує тепловий місток. Проведено розрахунок опору теплопередачі та внутрішньої температури поверхні, визначено ризик конденсації, оцінено річні енергетичні втрати та економічні наслідки. Запропоновано проєктно-технологічні рішення щодо усунення дефекту (встановлення ізоблоків/перехід на сендвіч-панелі, локальна реконструкція фасадів, а також регламенти контролю якості монтажу й експлуатації).

Запропоновані заходи з локальної реконструкції фасадів, альтернативні рішення із застосуванням сендвіч-панелей, а також впровадження системної діагностики та контролю дозволяють мінімізувати негативні наслідки й забезпечити відповідність нормативним вимогам (ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ EN ISO 6946:2019) та міжнародним стандартам у харчовій промисловості (IFS, BRC). Реалізація цих рекомендацій підвищує

надійність та ремонтпридатність конструкцій, зменшує експлуатаційні витрати протягом усього життєвого циклу й продовжує фактичний термін служби фасадних систем.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. DSTU B EN ISO 6946:2019. Budivelni konstruktssii ta budivelni vyroby. Teplovyy opir i koefitsiiient teploperedachi. – Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2019.
2. Astron Buildings. LPA900 Single-skin wall system. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.astron.biz/en/building-system/products/wall/lpa900> (data zvernennia: 20.09.2025).
3. Makhinko A.V., Skliarenko S.O. Problemy normuvannia vymoh do rekonstruktssii ob'ektiv budivnytstva na stadii zhyttievoho tsyклу. – Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky, 2024, №3(107). – DOI:10.31713/vt3202419.
4. DBN V.1.2-14:2009. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktivnoi bezpeky budivel i sporud. – Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2009.
5. ISO 15686-1:2011. Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles. – Geneva: ISO, 2011.
6. DBN V.2.6-31:2016. Teplova izoliatsiia budivel. (2016). K.: Minbud Ukrainy.
7. DBN V.2.6-33:2008. Konstruktssii budynkiv i sporud. Konstruktssii zovnishnikh stin iz fasadnoi teploizoliatsiieiu. (2009). K.: Minbud Ukrainy.
8. DSTU B V.2.6-35:2008. Konstruktssii budynkiv i sporud. Konstruktssii zovnishnikh stin iz fasadnoi teploizoliatsiieiu ta oporiadzhenniam industrialnymy elementamy z ventylvanyam povitrianyam prosharkom. (2009). K.: Minbud Ukrainy.
9. Farenuk H.H. Osnovy zabezpechennia enerhoefektyvnosti budynkiv ta teplovoi nadiinosti ohorodzhuvalnykh konstruktssii / H.H. Farenuk. – K.: Hama-Prynt, 2009. – 216 s.
10. Industrialnyi park «Bila Tserkva». Komertsiiina nerukhomist. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://ip-bt.com/en/buildings/commercial-real-estate/> (data zvernennia: 20.09.2025).
11. Kontseptsiiia industrialnoho parku «Bila Tserkva». – Kyiv: 2022. (elektronnyi dokument u skladi proektu).

12. Pashynskiy V.A. Osnovy teorii nadiinosti budivel i sporud. – Kropyvnytskyi: TsNTU, 2016. – 155 s.

13. Budivnytstvo tsekhu z vyrobnytstva elektrotekhnichnoi produktsii na terytorii IPBTs. Poiasniuvalna zapyska. – Kyiv: 2023. (proektna dokumentatsiia).

Література

1. ДСТУ Б EN ISO 6946:2019. Будівельні конструкції та будівельні вироби. Тепловий опір і коефіцієнт теплопередачі. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

2. Astron Buildings. LPA900 Single-skin wall system. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.astron.biz/en/building-system/products/wall/lpa900> (дата звернення: 20.09.2025).

3. Махінько А.В., Складенко С.О. Проблеми нормування вимог до реконструкції об'єктів будівництва на стадії життєвого циклу. – Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки, 2024, №3(107). – DOI:10.31713/vt3202419.

4. ДБН В.1.2-14:2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.

5. ISO 15686-1:2011. Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles. – Geneva: ISO, 2011.

6. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. (2016). К.: Мінбуд України.

7. ДБН В.2.6-33:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. (2009). К.: Мінбуд України.

8. ДСТУ Б В.2.6-35:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляваним повітряним прошарком. (2009). К.: Мінбуд України.

9. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк. – К.: Гама-Принт, 2009. – 216 с.

10. Індустріальний парк «Біла Церква». Комерційна нерухомість. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ip-bt.com/en/buildings/commercial-real-estate/> (дата звернення: 20.09.2025).

11. Концепція індустріального парку «Біла Церква». – Київ: 2022. (електронний документ у складі проекту).

12. Пашинський В.А. Основи теорії надійності будівель і споруд. – Кропивницький: ЦНТУ, 2016. – 155 с.

13. Будівництво цеху з виробництва електротехнічної продукції на території ІПБЦ. Пояснювальна записка. – Київ: 2023. (проектна документація).

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.11.2025	Received in revised form 15.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

V. M. Sokolenko*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5073-2694>

Department Of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 17 John Paul II Str., Kyiv, Ukraine, 01042

K. V. Sokolenko

Ph.D, Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3334-7855>

Department Of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 17 John Paul II Str., Kyiv, Ukraine, 01042

O.Y. Koliushko

Master, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4398-2933>

Department Of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 17 John Paul II Str., Kyiv, Ukraine, 01042

P.M. Herasym

Master, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1440-6834>

Department Of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 17 John Paul II Str., Kyiv, Ukraine, 01042

*corresponding author, e-mail: 13wms13@ukr.net

Research on the performance of single-layer thermal insulation systems during the life cycle of industrial facilities

How to Cite:

Sokolenko, V.M., Sokolenko, K.V., Koliushko, O.Y., Herasym, P.M. (2025). Research on the performance of single-layer thermal insulation systems during the life cycle of industrial facilities. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 493-504. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-42](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-42)

Abstract. The problem of the effectiveness of the external enclosure of an industrial facility with a metal frame and a single-layer wall system is considered. Defective solutions for enclosing structures that arose due to design and organizational and construction factors are identified and analyzed. A quantitative assessment of the nature of the single-layer enclosure structure and the identified characteristic thermal bridge of the node was performed, and its impact on the average heat transfer coefficient U of the facade, condensation risks, and annual energy losses was determined. Practical recommendations for local facade reconstruction were formulated.

A set of factors affecting the maximum service life of the building was analyzed, in particular, local moisture penetration into the insulation, corrosion of metal elements, and damage to decorative and protective coatings. Long-term negative consequences without response and local reconstruction of the facade lead to a reduction in the actual service life of the facade shell from the calculated 30–35 years to 20–25 years, an increase in total operating costs over 10 years by 15–20%.

Based on the thermal analysis of the units, the calculation of the heat transfer coefficient, and the identified defects in the operation of the enclosing structures, a set of recommendations was formed aimed at eliminating the negative consequences and increasing the reliability of the industrial building, in particular: local reconstruction of facades with the installation of thermal breaks (insulation blocks) in the span lines, duplication of thermal insulation with an internal layer of 50–80 mm with continuous vapor barrier, sealing of joints; transition to sandwich panels; diagnostics; development of installation requirements; design and regulatory support. Implementation of these recommendations increases the reliability and maintainability of structures, reduces operating costs throughout the entire life cycle, and extends the actual service life of facade systems.

Keywords: thermal engineering calculations, local facade reconstruction, thermal modernization of buildings, facade insulation, metal frame, single-layer wall system.

УДК 725.51:364-78

В.О. Степанюк

магістр,

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

І.О. Парфентьєва *

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6116-4509>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

І.В. Задорожнікова

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-75283>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: innaparfentyeva@gmail.com

Сталий та інклюзивний розвиток реабілітаційних центрів: перспективи розширення на прикладі ГО «АГАПЕ-УКРАЇНА»

Цитувати як:

Степанюк, В.О., Парфентьєва, І.О., Задорожнікова, І.В. (2025). Сталий та інклюзивний розвиток реабілітаційних центрів: перспективи розширення на прикладі ГО «АГАПЕ-УКРАЇНА». *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 505-515. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-43](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-43)

© 2025, Степанюк В.О., Парфентьєва І.О., Задорожнікова І.В.

Критична необхідність реновації та розширення реабілітаційної інфраструктури в Україні набула безпрецедентної актуальності, оскільки повномасштабна військова агресія спричинила вибухове зростання кількості громадян – як військовослужбовців, так і цивільного населення, які потребують якісних, довготривалих і комплексних відновлювальних послуг. Сучасна мережа реабілітаційних закладів виявилася неспроможною задовольнити цей попит, що зумовлює необхідність системного підходу до створення нових центрів та модернізації існуючих

У статті досліджується критична необхідність розширення реабілітаційної інфраструктури в Україні, зокрема, аналізуються проблеми, спричинені незадоволенням поточного попиту на якісні відновлювальні послуги. На прикладі одного з реабілітаційних центрів на Волині, який працює на межі своїх потужностей, у роботі детально обґрунтовуються перспективи та можливості його модернізації та територіального розширення. Особлива увага приділяється питанням просторово-планувальної організації, благоустрою та впровадження інноваційних технологій, що забезпечують комплексність та ефективність процесів реабілітації.

Системне розширення реабілітаційних центрів, яке ґрунтується на принципах трансформативності простору, що дозволяє оперативно змінювати функціональне призначення будівлі відповідно до динамічних потреб пацієнтів, та

екологічній свідомості через впровадження енергоефективних технологій, слід розглядати не як витрати, а як стратегічну інвестицію. Ця інвестиція не лише гарантує забезпечення гідного, якісного лікування для всіх, хто постраждав і потребує відновлення, але й суттєво підвищує стійкість та гнучкість усієї національної системи охорони здоров'я перед лицем майбутніх криз.

Результати дослідження підтверджують, що комплексна реновація та розширення реабілітаційних центрів сприяють формуванню багатофункціонального середовища, яке поєднує фізичну, сенсорну та психоемоційну реабілітацію. Це дозволяє не лише оптимізувати процеси відновлення, але й забезпечити соціальну інтеграцію пацієнтів, підвищити якість їхнього життя та зміцнити соціальну згуртованість у громадах.

Ключові слова: реабілітаційні центри, інклюзивність, благоустрій, тенденції реабілітаційних центрів, сталий розвиток.

Вступ

Після початку повномасштабного збройного вторгнення військ російської федерації на територію України попит на послуги реабілітації та відновлення значно зріс. Це спричинило різке зростання числа громадян (як військових, так і цивільних) з комплексними травмами, котрі вимагають безперервного та високотехнологічного відновлення. Оскільки існуюча мережа реабілітаційних закладів неспроможна впоратися із задоволенням цього попиту, оперативне створення нових центрів та розширення вже існуючих набуває статусу державного значення та потребує певних досліджень.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Окрім правильно організованого внутрішнього планування будівель центрів реабілітації, необхідним є влаштування комплексного та багатофункціонального благоустрою. Енергоефективність та стале будівництво є ключовими вимогами до благоустрою реабілітаційних центрів, оскільки вони забезпечують довгострокову економічну ефективність та створюють здорове, природно збалансоване середовище для пацієнтів. Задля цього обов'язковим є дотримання міжнародних стандартів, таких як LEED, що визначають критерії сталого проектування та ефективного використання ресурсів. Також будівля та прилегла територія повинні повністю відповідати вимогам державних норм [1].

Практична реалізація принципів сталого розвитку включає активне впровадження відновлюваних джерел енергії (наприклад, сонячних панелей) та використання інтелектуальних систем (автоматичне освітлення), що значно мінімізують споживання ресурсів, а також застосування інноваційних технологій (рекуперація тепла). Окрім технологічних рішень, стале будівництво вимагає органічної взаємодії з природним середовищем, що виражається у використанні натуральних

матеріалів та правильному підборі гіпоалергенної рослинності, тим самим перетворюючи центр на біофільний простір, сприятливий для швидкого відновлення [2].

Інклюзивний дизайн, відповідно до діючих нормативних документів [3], є обов'язковим для реабілітаційних центрів, гарантуючи загальну безбар'єрність усіх зон для клієнтів із різними обмеженнями. Доступ до будівель та зон відпочинку повинен бути повністю безбар'єрним. Ще одним дуже важливим напрямом є забезпечення сенсорної доступності: використання брайлевих написів, тактильної плитки та кольорових контрастів для орієнтації, впровадження світлових (вібраційних) сигналів у системах попередження та забезпечення інтерактивних інформаційних систем.

Вимога до трансформативності – внутрішньої архітектурної гнучкості реабілітаційних центрів – стала особливо актуальною в національних реаліях через значні зміни у складі користувачів. Після початку повномасштабної війни з'явилися дві ключові та переважаючі групи: військові та постраждалі цивільні. Кожна з них вимагає унікальних підходів до реабілітації, що впливає на планування та композицію центрів. Отже, здатність просторів до перепрофілювання надає можливість оперативно змінювати функціональне спрямування центру відповідно до поточної пріоритетної категорії реабілітантів, що є життєво важливим для адаптивності та стійкості медичної інфраструктури [4].

На сьогоднішній день значна кількість закладів, що спеціалізуються на реабілітації (особливо державних), не забезпечують комфорт та інклюзивність для всіх груп населення. Згідно з дослідженням [5], близько 12% опитаних зазначили, що мали складнощі, пов'язані з безбар'єрністю пересування у закладі. Серед тих, хто зіткнувся з проблемами безбар'єрності, основними труднощами були:

- важкість пересування на кріслі колісному, включаючи відсутність ліфтів та підйомників (48%);
- відсутня вбиральня, обладнана для пацієнтів з особливими потребами (33%);
- труднощі з пересуванням на милицях (38%).

Окрім проблем з наявними центрами реабілітації, сьогодні існують суттєві труднощі з доступністю. Проблема географічної недоступності реабілітаційних послуг є однією з найгостріших соціальних перешкод, що значно ускладнює відновлення громадян. Майже третина опитаних (28%) відзначає відсутність необхідних центрів чи установ поблизу місця свого проживання. Ця ситуація особливо критично проявляється на рівні громад, де 25% респондентів прямо говорять про повну відсутність необхідних послуг, що вказує на низький рівень забезпечення базової реабілітаційної інфраструктури в регіонах. Також ця нерівномірність розподілу послуг створює глибокий дисбаланс між міськими та сільськими територіями, адже

більше половини мешканців сіл (51%) стверджують, що реабілітаційних послуг у їхньому населеному пункті взагалі немає, тоді як у маленьких містах ця цифра також є значною і сягає 27%, що вимагає невідкладного розширення мережі реабілітаційних закладів за межі великих міст [6].

Таким чином, виникає гостра необхідність будівництва нових та розширення вже існуючих реабілітаційних центрів. Також існує необхідність реконструювання старих медичних установ з акцентом на забезпечення інклюзивності приміщень для всіх груп населення.

Мета і завдання дослідження

Метою статті є дослідження перспектив та можливостей розширення існуючих реабілітаційних центрів на прикладі ГО «АГАПЕ-УКРАЇНА», що на Волині.

Матеріали та методи

В роботі були застосовані методи порівняльного, аналітичного, просторово-планувального та системного аналізу.

Реновація існуючої забудови та благоустрою згідно з принципами сталого розвитку є комплексною стратегією, яка має на меті не лише відновлення фізичних структур, але й кардинальне покращення екологічних, соціальних та економічних показників міського середовища. Досягнення екологічної стійкості вимагає глибокої енергоефективної модернізації, що включає як максимальне утеплення конструкцій, так і впровадження відновлюваних джерел енергії та інтелектуальних систем для раціонального водокористування і управління відходами, чим забезпечується суттєве зниження операційних витрат та вуглецевого сліду.

Водночас, соціальна стійкість передбачає обов'язкове впровадження інклюзивного дизайну, гарантуючи безбар'єрний доступ до всіх зон для різних груп користувачів, тоді як створення функціональних і безпечних громадських просторів та покращення якості внутрішнього середовища сприяє підвищенню якості життя мешканців і зміцненню соціальної згуртованості. Таким чином, реновація, керована цими принципами, перетворює застарілі об'єкти на високопродуктивне та комфортне середовище, яке є економічно життєздатним у довгостроковій перспективі.

Одним із наймасштабніших в Україні проектів із застосуванням принципів сталого розвитку є національна мережа RECOVERY. В рамках цієї програми було відкрито 18 реабілітаційних центрів по всій території України. Більшість із них були відкриті на базі державних медзакладів із оновленим плануванням та технічним пероснащенням [7].

Результати та обговорення

Розглянемо перспективи та можливості розширення реабілітаційного комплексу на прикладі ГО «АГАПЕ-УКРАЇНА» в с. Боратин Волинської області.

Земельна ділянка, загального площею 3,1 га, розташована в житловому масиві неподалік від м. Луцьк (рис.1).



Рис.1 Ситуаційна схема ділянки на карті

На даний момент реабілітаційний комплекс складається з двох капітальних будівель – житлового та господарського корпусів, що з'єднані між собою перехідною галереєю. На кожному з трьох поверхів житлового корпусу знаходиться 4-5 кімнат на дві особи. На третьому поверсі розташоване приміщення для реабілітації та ФЛК, а на другому поверсі господарського корпусу влаштовано тренажерний зал.

У зв'язку зі зростанням попиту на послуги реабілітації виникає потреба у розширенні існуючих об'ємів. Буде доцільним будівництво додаткового корпусу із житловими кімнатами та залами для проведення реабілітації.

На сьогоднішній день частина території реабілітаційного комплексу вже облаштована згідно з початковим проєктом (рис.2), що вимагає від проєктанта не радикальної перебудови, а доповнення вже існуючої картини. Тому рекомендується зберегти функціональні елементи існуючого благоустрою, які відповідають базовим вимогам безпеки та доступності. Така позиція дозволить не тільки істотно заощадити кошти, які можуть бути спрямовані на основну мету реновації, але й зберегти природний та вже звичний пацієнтам вигляд частини території, що позитивно впливає на їхнє психоемоційне відновлення.



Рис. 2 Вигляд сучасного стану благоустрою ділянки

Ключовим завданням реновації є зосередження зусиль на зонах, де благоустрій відсутній або не відповідає функціональному призначенню центру, створюючи там багатофункціональний простір для занять фізкультурою та реабілітаційними вправами на свіжому повітрі. Цей простір має бути спроектований як відкритий ерготерапевтичний майданчик, де пацієнти, незалежно від їхнього фізичного стану, зможуть виконувати вправи під контролем фахівців. У зв'язку з цим, слід передбачити встановлення спеціалізованого вуличного інклюзивного воркаут-обладнання, що адаптоване для використання особами на кріслах колісних та спрямоване на відновлення сили, координації та моторики (рис. 3).



Рис. 3 Тренажери для відновлення рухливості верхніх і нижніх кінцівок

Висока ефективність реабілітації досягається з використанням обладнання, що допомагають відновити навички ходьби. Воно може бути представлене різноманітними поручнями та перекладинами на різній висоті. Поєднання сходів, поручнів та похилої площини в одному комплексі дозволяє тренування навичок як ходьби, так і пересування на кріслі колісному (рис. 4).



Рис. 4. Обладнання для відновлення навичок ходьби

Окрім силових тренувань, цей новий ландшафт має містити тактильну смугу перешкод, яка імітує різні типи покриття та елементи міського середовища (бордюри, пандуси, сходи з різною висотою), адже тренування ходи в умовах, наближених до реального життя, є вирішальним етапом для успішної реінтеграції пацієнтів у суспільство.

Сенсорна доріжка (рис. 5) – це спеціально обладнаний простір із різноманітними покриттями (галька, пісок, кора, дерево), що стимулює тактильну систему, рівновагу та пропріоцепцію.

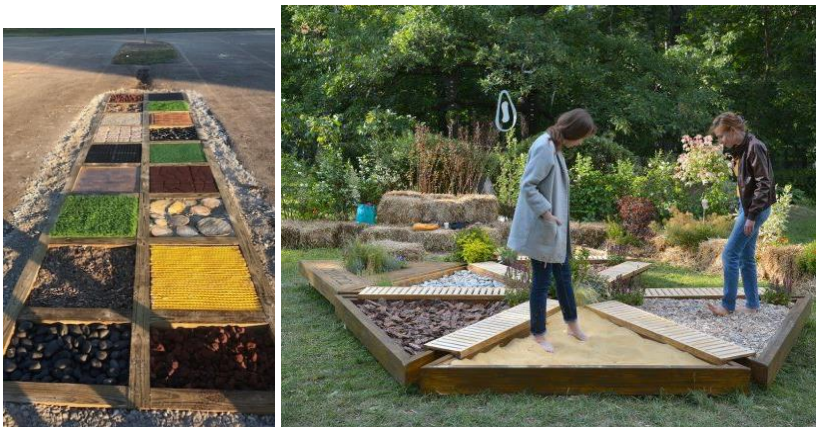


Рис.5 Сенсорні доріжки

Сенсорна доріжка є ефективним інструментом для автономного та якісного відновлення фізичного та ментального здоров'я пацієнтів. Вона

допомагає налаштувати мозок на правильне сприйняття інформації, що критично для осіб із сенсорними порушеннями. Чергування різних матеріалів тренує ходу на нерівних поверхнях для пацієнтів після травм чи інсультів. Через контакт із природними матеріалами та концентрацію на відчуттях сенсорна доріжка сприяє заспокоєнню та зниженню тривожності.

Терапевтичні сади (рис. 6) на території реабілітаційного комплексу є спеціально спроектованими зовнішніми просторами, які функціонують як інструмент комплексного лікування, забезпечуючи безпечне та стимулююче середовище для пацієнтів. Ці інклюзивні зони не лише містять терапевтичні стежки для відновлення ходи, рівноваги та координації, а й сприяють психоемоційному відновленню, оскільки контакт із природою та різноманітною гіпоалергенною рослинністю знижує рівень стресу та забезпечує м'яку сенсорну стимуляцію, що є критично важливим для інтегральної реабілітації.

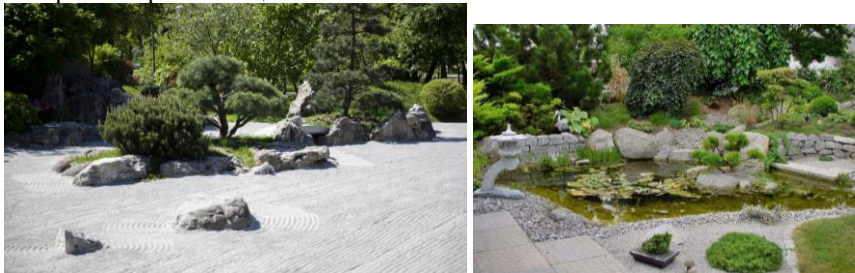


Рис.6 Терапевтичні сади

Таким чином, реновація благоустрою перетворює незадіяну ділянку на високоспеціалізовану терапевтичну зону, яка функціонально доповнює внутрішні зали фізичної реабілітації.

Висновки

Отже, розширення потужностей існуючого реабілітаційного комплексу ГО «АГАПЕ-УКРАЇНА» потребує комплексного підходу. Для підтримки якості життя та екологічного балансу є критично важливим, щоб збільшення площ забудови супроводжувалося адекватним наросуванням площі відкритих просторів та зон відпочинку на свіжому повітрі. Тому виконання комплексного благоустрою із виділенням усіх необхідних зон є ключовим завданням створення комфортного та функціонального середовища.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. DBN V.2.2-10:2022 Healthcare facilities: Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine, 2021. – 67с.
2. Architecture of Rehabilitation and Recovery Centers in the Landscape Environment / V. Kulichenko, N. Ratushynskyi, I. Pohranichna // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: Architecture. – 2023. – Vol. 5, No. 1. – pp. 112–121.
3. DBN V.2.2-40:2018 Inclusiveness of buildings and structures. Basic provisions. With Amendments No. 1,2: Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine, 2024. – 64с.
4. Shklyar, S. P., Voronovsky, I. V. "Problems of architectural design of social and psychological rehabilitation centers. Contemporary problems of architecture and urban planning" – Kharkiv, 2023. – 281 p.
5. Rehabilitation of Ukrainian military personnel and veterans: experience in overcoming inconsistency. Research – Kyiv, August 2024. – 116 p. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.pryncyp.org/wp-content/uploads/2024/12/reabilitacziya-web.pdf>
6. Kyiv International Institute of Sociology (KIIS) Review of research results 2023. – 19 p. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-12/overview-research-results.pdf>
7. About the Recovery Project [Electronic resource]. – Access mode: <https://recoveryua.org/pro-proekt>

Література

1. ДБН В.2.2-10:2022 Заклади охорони здоров'я: Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2021. – 67с.
2. Архітектура реабілітаційно-відновлювальних центрів у ландшафтному середовищі / В. Куліченко, Н. Ратушинський, І. Погранична // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Сер. Архітектура. - 2023. - 5, № 1. - С. 112-121.

3. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Із Зміною № 1,2: Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2024. – 64с.

4. Шкляр С. П., Вороновський І. В. Проблеми архітектурного формування центрів соціально-психологічної реабілітації Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник – К. : КНУБА, 2023. Вип. 65 – С. 271-281.

5. Реабілітація українських військових та ветеранів: досвід долаття несистемності. Дослідження – Київ, серпень 2024. – 116 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pryncyp.org/wp-content/uploads/2024/12/reabilitacziya-web.pdf>

6. Київський міжнародний інститут соціології (КМІС) Огляд результатів досліджень 2023. – 19 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-12/overview-research-results.pdf>

7. Про проєкт Recovery [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://recoveryua.org/pro-proekt>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.11.2025	Received in revised form 12.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

V. O. Stepaniuk

Master,

Department of construction and civil engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

I. O. Parfentjeva *

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6116-4509>

Department of Building and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

I. V. Zadorozhnikova

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-75283>

Department of Building and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: innaparfentyeva@gmail.com

Sustainable and inclusive development of rehabilitation centers: prospects for expansion based on the example of the NGO “AGAPE-UKRAINE”

Cite as:

Stepaniuk V.O., Parfentjeva I.O., Zadorozhnikova I.V. (2025). Sustainable and inclusive development of rehabilitation centers: prospects for expansion based on the example of the NGO AGAPE-

UKRAINE. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 505-515.
[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-43](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-43)

© 2025, Stepaniuk V.O., Parfentieva I.O., Zadorozhnikova I.V.

Abstract. The critical need to renovate and expand rehabilitation infrastructure in Ukraine has become more pressing than ever, as full-scale military aggression has led to an explosive increase in the number of citizens – both military personnel and civilians – who require high-quality, long-term, and comprehensive rehabilitation services. The current network of rehabilitation facilities has proven unable to meet this demand, necessitating a systematic approach to creating new centers and modernizing existing ones.

This article explores the critical need to expand rehabilitation infrastructure in Ukraine by analyzing the problems caused by the significant gap between current demand and the supply of quality rehabilitation services. Using the example of one of the rehabilitation centers in Volyn, which is operating at the limits of its capacity, the paper provides a detailed justification of the prospects and possibilities for its modernization and territorial expansion. Particular attention is paid to issues of spatial planning, improvement, and the introduction of innovative technologies that ensure the comprehensiveness and effectiveness of rehabilitation processes.

The systematic expansion of rehabilitation centers, based on the principles of spatial transformability – which allows for the rapid change of a building's functional purpose in accordance with the dynamic needs of patients – and environmental awareness through the introduction of energy-efficient technologies, should be viewed not as an expense but as a strategic investment. This investment not only guarantees decent, quality treatment for all those who have suffered and need rehabilitation, but also significantly increases the resilience and flexibility of the entire national healthcare system in the face of future crises.

The results of the study confirm that the comprehensive renovation and expansion of rehabilitation centers contribute to the creation of a multifunctional environment that combines physical, sensory, and psycho-emotional rehabilitation. This not only optimizes recovery processes, but also ensures the social integration of patients, improves their quality of life, and strengthens social cohesion in communities.

Keywords: rehabilitation centers, inclusiveness, improvement, trends in rehabilitation centers, sustainable development.

УДК 539.3

А. О. Сяський

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2943-2873>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

М.В. Делявський

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6952-0870>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

С. Б. Мікуліч*

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3287-217X>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: stas_lutsk@ukr.net

Вплив розмірів включення на напружений стан пластинчастих елементів за динамічного навантаження

Цитувати як:

Сяський, А. О., Делявський, М. В., Мікуліч С. Б. (2025). Вплив геометрії включення на напружений стан пластинчастих елементів за динамічного навантаження. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 516-524. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-44](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-44)

© 2025, Сяський А. О., Делявський М. В., Мікуліч С. Б.

У статті наведено результати дослідження щодо оцінки впливу жорстких включень на напружений стан пластинчастих елементів конструкції за дії одновісного динамічного навантаження. Для розв'язання задачі використано метод граничних інтегральних рівнянь та апарат теорії функцій комплексної змінної. Такий підхід дозволив звести розв'язання задачі до системи сингулярних інтегральних рівнянь. Виділення нерегулярних особливостей підінтегральних функцій та використання формул Племеля-Сохоцького при граничному переході дозволило записати інтегральні рівняння у формі, що зручні для числового розв'язання. Використання методу конформних відображень дозволило застосовувати запропонований підхід для дослідження напруженого стану пластинчастих елементів з включеннями практично довільної гладкої форми. Для числової реалізації використовувалися методи механічних квадратур та колокації. Числовий аналіз напруженого стану здійснено на основі дослідження розподілу динамічних напружень у нескінченних пластинках з жорсткими включеннями прямокутної форми за дії осьового імпульсного навантаження. Порівняння числових результатів дозволило здійснити аналіз концентрації напружень для включень різної форми. Також проведено аналіз розподілу динамічних напружень на границі між включенням та матрицею на різних етапах прикладання навантаження. На основі числових розрахунків встановлено, що при збільшенні довжини включення відбувається зміна розподілу напружень. Також встановлено, що при високочастотних коливаннях значення напружень, як кільцевих, так і

нормальних, є практично однаковими та не залежать від розмірів включення. На основі відповідних результатів визначені точки на границі включення та пластинчастого елемента з максимальною концентрацією напружень. Такий підхід дозволяє забезпечити міцність та надійність відповідних елементів з'єднань.

Ключові слова: напружений стан, динамічне навантаження, включення, метод інтегральних рівнянь, одновісний розтяг.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Отвори, включення чи підсилення спричиняють концентрацію напружень у всіх інженерних конструкціях. Тому оцінка величини концентрації напружень важлива для визначення надійності та термінів експлуатації відповідних елементів конструкцій. Особливо актуальною є така задача за дії динамічного чи вібраційного навантаження.

Концентрація напружень спостерігається також і у матеріалах зі структурними неоднорідностями, якими можуть бути порожнини, отвори, домішки та ін. Крім того, істотне зростання напружень у елементах конструкцій відбувається і за наявності геометричної неоднорідності. Динамічні навантаження створюють у таких зонах градієнт напружень, що є причиною прогресивного накопичення пошкоджень.

Критичним аспектом вивчення механічної поведінки конструкційних елементів є дослідження розподілу напружень в околі цих концентраторів. Важливо зазначити, що розподіл напружено-деформованого стану в значній мірі визначається формою, механічними, фізичними та геометричними характеристиками включення.

Грунтовний аналіз напружено-деформованого стану геометрично-однорідних тіл є основою для розробки методів зниження інтенсивності напружень шляхом цілеспрямованого підбору механічних і фізичних властивостей компонентів включення, їх геометрії та розташування.

Проблема концентрації напружень поблизу включень залишається високо-актуальною в сучасній механіці [1-7].

Історично, для задач про кругові включення в нескінченних пластинах за статичного або квазістатичного навантаження існують класичні аналітичні розв'язки, отримані у формі рядів у роботах О. М. Гузя, В. Д. Кубенка, Г. М. Савіна. Однак, для включень зі складною геометрією: еліптичної, прямокутної та ін. неканонічної форми, використовуються наближені методи, такі як метод багатократних відображень, або напівчислових підходів, зокрема, метод граничних елементів (МГЕ) [8-10]. Перевагою використання МГЕ можна вважати можливість записати сингулярні та регулярні інтегральні рівняння для різних типів граничних умов.

У сучасних дослідженнях активно застосовуються числові та аналітично-числові методи. Зокрема, це метод скінченних елементів (МСЕ), що використовується для аналізу напруженого стану пластин з

функціонально-градієнтованими кільцевими включеннями [1] та підкріпленими видовженими отворами [2]. Проте, недолоком використання МСЕ є його числова точність лише для випадку статичних навантажень.

Також з-поміж розвитку методів дослідження напруженого стану елементів з включеннями слід виокремити математичні моделі на основі сингулярних інтегральних рівнянь для пластин з лінійними [3] та криволінійними включеннями і тріщинами [4]. Такі підходи також використовуються для побудови моделей, що аналізують 2D-3D перехід [5] та модифіковані розв'язки Кірша для жорстких/м'яких включень [6].

У роботах [7, 11, 12] особливу увагу приділено модифікованому методу граничних елементів, який є ефективним для дослідження напружено-деформованого стану пластин з багат шаровими включеннями довільної форми, забезпечуючи точне визначення всіх компонент напружень на межі розділу включення-матриця.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи було дослідити вплив жорстких включень на інтенсивність напружень у пластинчастих елементах конструкцій за дії одновісного динамічного навантаження. Для досягнення цієї мети у роботі були поставлені та виконані наступні завдання:

- використовуючи метод інтегральних рівнянь розроблено методику дослідження динамічного напружено-деформованого стану тіл з включеннями;
- розвинуто числову реалізацію запропонованої методики для випадку включень еліптичної та прямокутної форми;
- проведено числовий аналіз для випадку нескінченних пластинок з жорсткими нерухомими включеннями еліптичної та прямокутної форми за дії квазістатичного одновісного навантаження.

Матеріали та методи

У процесі моделювання розглядався пластинчастий елемент, у який жорстко вкріплене недеформівне включення (рис. 1). Приймалося, що включення додатково зафіксовано таким способом, щоб на границі пластинчастого елемента та включення були відсутні переміщення (рис. 1). Через L позначали границю контуру включення, через D – область, яку займає пластинка. Пластинчастий елемент відносили до декартової системи координат $Ox_1x_2x_3$, яку розміщували у центрі ваги включення (рис. 1).

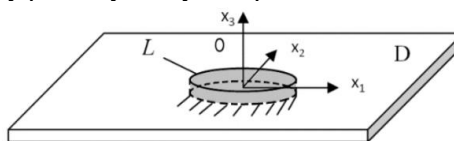


Рис. 1. Модель задачі

Граничні умови задачі записуються у вигляді [12]:

$$u_i|_L = 0, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

де u_1 та u_2 переміщення точок границі пластинки в напрямку Ox_1 та Ox_2 відповідно.

Розв'язання задачі здійснювалося за використання методу граничних елементів [8], відповідно до якого представлення для переміщень подавалося у вигляді [12]:

$$u_i(x_1, x_2) = - \int_L u_j(x_1^0; x_2^0) \cdot P_{ji}^*(x_1; x_2; x_1^0; x_2^0) ds. \quad (2)$$

Тут P_{kj}^* — фундаментальні функції, що відповідають напруженню у k -му напрямку від дії одиничних сил у j -му напрямку [12]. Для розглядуваного випадку приймалося: $k, j = 1, 2$.

Відповідно до методики [12] розв'язання задачі зведено до системи інтегральних рівнянь, які отримувалися при задоволенні граничних умов (1) з використанням інтегральних представлень (2):

$$C \cdot U + \int_L F \cdot U ds = P, \quad (3)$$

тут $C = \{c_{jk}\}$ - матриця коефіцієнтів, які визначаються при граничному переході за використання формул Племеля-Сохоцького [12], $U = \{u_j\}$ - матриця невідомих переміщень, $P = \{P_j\}$ - матриця впливу заданого навантаження шляхом (відомі величини), $F = \{f_{jk}\}$ - матриця відомих підінтегральних функцій ($j, k = 1, 2$):

$$f_{jk} = P_{jk}^*|_{(x_1, x_2) \in L, (x_1^0, x_2^0) \in L}.$$

Для розв'язання системи інтегральних рівнянь використовувалися числові методи: метод механічних квадратур, метод колокації, метод конформних відображень. На основі параметричних представлень границі контуру включення L [2]:

$x_1 = \varphi(\theta); \quad x_2 = \psi(\theta), \quad t = g(\theta) = \varphi(\theta) + i\psi(\theta), \quad 0 < \theta < 2\pi,$
 для числових розрахунків вибиралися наступні задання [8]:

- для прямокутної границі з відношенням сторін 5:

$$g(\theta) = a(e^{-i\theta} + 0.64e^{i\theta} - 0.098e^{3i\theta} - 0.0038e^{5i\theta} + \dots)$$
- для прямокутної границі з відношенням сторін 3,2:

$$g(\theta) = a(e^{-i\theta} + 0.5e^{i\theta} - 0.125e^{3i\theta} - 0.00375e^{5i\theta} + \dots)$$

Враховуючи особливості підінтегральні функції f_{jk} при малих значеннях аргументу для числових розрахунків використано уточнені квадратурні формули [10]:

$$\int_{\Omega} f(t, z_v) \ln r dt = h \sum_{n=1}^K f_{vn} \left(\ln \frac{r_n}{\xi_n} - \sum_{m=1}^M \frac{\xi_n^m}{m} \cos(\theta - \theta_n) \right) g'_n,$$

$$\int_{\Omega} qf(t, z_v) dt = h \sum_{n=1}^K q_n f_{vn} g'_n$$

де

$$g'_n = g'(\theta_n), \quad \theta_n = hn, \quad z_v = z(\tilde{\theta}_v), \quad \tilde{\theta}_v = \theta_v + \frac{h}{2}, \quad v = \overline{1, K}, \quad h = \frac{2\pi}{K}, \quad M = \frac{K}{2}.$$

Після числового визначення невідомих для розрахунку напружень використовувалися наступні формули:

$$\sigma_{ij} = \int_L H_{ik} u_k ds, \quad j=1 \dots 2,$$

тут функції H_{ij} визначаються числово у відповідних точках.

Результати та обговорення

Дослідження напруженого стану пластинчастих елементів з включеннями проводилися для випадку дії «падаючої» хвилі стиску, що за динамічних навантажень моделює випадок одновісного розтягу. Потенціали падаючої хвилі задавалися у вигляді [12]:

$$\Phi = \Phi_0 e^{i\omega(\tau - \omega_1 x_1)}, \quad \Psi = 0, \quad (8)$$

де ω - частота, $\omega_1 = \frac{\omega}{c_1}$, $\Phi_0 = \frac{\rho}{\omega^2}$, c_1 - швидкість хвиль розширення [8].

Приймалося, що хвиля поширюється у напрямку осі Ox_1 . 2D модель навантаження представлена на рис. 2.

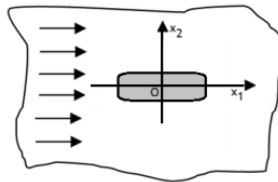


Рис. 2. 2D модель навантаження.

На рис. 3 наведено результати числових розрахунків нормальних напружень вздовж границі включення, що розраховані для декількох значень частотної характеристики ω_2 : 0,25 (крива 1), 0,5 (крива 2), 1 (крива 3), 1,5 (рис. 3, а) для двох випадків включень: з відношенням сторін 5 (зверху) та 3,2 (знизу). При розрахунках вибиралися наступні значення механічних характеристики матеріалів: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0,3$, $\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

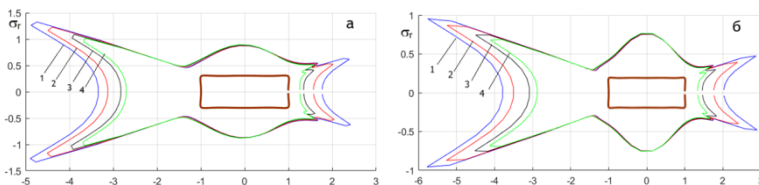


Рис. 3. Напружений стан вздовж границі включень.

Також для аналізу напруженого стану було досліджено зміну розподілу напружень на границі включення та пластини для розглянутих випадків зі зміною частоти у декількох точках границі: $\theta = 0^\circ$ (крива 1), $\theta = 45^\circ$ (крива 2), $\theta = 90^\circ$ (крива 3), $\theta = 135^\circ$ (крива 4) та $\theta = 180^\circ$ (крива 5). На рис. 4 представлено розподіли кільцевих σ_θ (рис. 4, а) та нормальних σ_n (рис. 4, б) та динамічних напружень для відповідних точок границі. Тут випадку прямокутного включення з відношення сторін 5 відповідають суцільні криві, а для випадку відношення 3,2 – пунктирні.

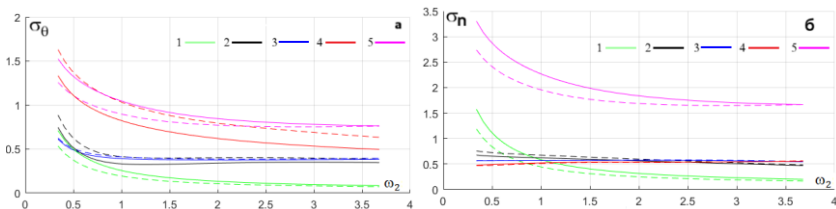


Рис. 4. Напружений стан на гранці пластинка-включення

Висновки

Аналіз напруженого стану вздовж границі включення (рис. 3) показує зростання напружень вздовж великої сторони прямокутного включення при збільшенні відношення сторін, тобто збільшення довжини включення призводить до зміни розподілу напружень.

Результати, наведені на рис. 4, а показують, що вплив зміни довжини включення на розподіл кільцевих напружень є зовсім не значний: у 1,1 рази при збільшенні розмірів у 1,56 рази. Проте, рис. 4, б демонструє зростання нормальних напружень пропорційно до збільшення розмірів: у 1,5 рази при низькочастотних коливаннях. При високочастотних коливаннях значення напружень, як кільцевих, так і нормальних, є практично однаковими та не залежать від розмірів включення. Числові розрахунки підтверджують істотну концентрацію напружень у кутових точках включення, що є властивим також і для інших видів концентраторів.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Hart, E. L., Terokhin, B. I. (2021) *Computer Simulation of the Stress-Strain State of the Plate with Circular Hole and Functionally Graded Inclusion*. Journal of Optimization, Differential Equations and Their Applications (JODEA), 29, 1, PP. 42–53, <https://doi.org/10.15421/142103>
2. Hart, E.L., Hudramovich, V.S. (2022) *Computer Simulation of the Stress-Strain State of Plates with Reinforced Elongate Rectangular Holes of Various Orientations*. Strength of Materials and Theory of Structures, 108, PP. 77-86. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.77-86>
3. Nazarenko, O., Usov, A., Volkova, M., Kozin, O. (2023) *Mathematical Modeling of the Stress-Strain State of a Plate with Rigid Linear Inclusion and Mixed Boundary Conditions*. Bulletin of Mykhailo Ostrohradskyi KrNU, 1(138), PP. 22-28. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.1.2>
4. Zelenyak, V., Kolyasa, L., Klapchuk, M., Oryshchyn, O., Vozna, S. (2021) *Determining Patterns in Thermoelastic Interaction between a Crack and a Curvilinear Inclusion Located in a Circular Plate*, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/7 (114), PP. 52-58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.24399>
5. Oshri, O., Biswas, S., Balazs, A.C. (2019) *Modeling the behavior of inclusions in circular plates undergoing shape changes from two to three dimensions*. Phys. Rev. E, 100, 043001. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.100.043001>
6. Lavrenyuk, V. I., Lavrenyuk, N. V. (2007) *The Stress–Strain State of a Plate with a Multilayer Inclusion*. International Applied Mechanics, 43, 3, PP.329-334.
7. Rana, A.K., Paulb, S.K., Deya, P.P. (2019) *Stress field in an isotropic elastic solid containing a circular hard or soft inclusion under uniaxial tensile stress*. Materials Today: Proceedings, 11, PP. 657–666. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.024>
8. Katsikadelis, J.T. (2016). *The Boundary Element Method for Engineers and Scientists: Theory and Applications* (Second Edition), Academic Press, 446 p.
9. Gwinner, J., Stephan, E.P. (2018) *Advanced Boundary Element Methods: Treatment of Boundary Value, Transmission and Contact Problems*, Springer, 652 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92001-6>
10. Banjai, L., Sayas, F.-J. (2022) *Integral Equation Methods for Evolutionary PDE: A Convolution Quadrature Approach*, Springer, 268 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-13220-9>
11. Shvabyuk V., Sulym H., Mikulich O. (2015) *Stress State of Plate with Incisions under the Action of Oscillating Concentrated Forces*, Acta Mechanica et Automatica, 9(3), 140-144. <https://doi.org/10.1515/ama-2015-0023>
12. Shvabyuk V.I., Furs T.V., Komenda N.V., Mikulich S.B. (2023) *Integral equations of the problem of wave diffraction in elastic media with inclusions under the action of unsteady loads*. Naukovi notatky, 75, Lutsk, pp. 95-99. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2023>

Література

1. Hart, E. L., Terokhin, B. I. (2021) *Computer Simulation of the Stress-Strain State of the Plate with Circular Hole and Functionally Graded Inclusion*. Journal of Optimization, Differential Equations and Their Applications (JODEA), 29, 1, PP. 42–53, <https://doi.org/10.15421/142103>
2. Hart, E.L., Hudramovich, V.S. (2022) *Computer Simulation of the Stress-Strain State of Plates with Reinforced Elongate Rectangular Holes of Various Orientations*. Strength of Materials and Theory of Structures, 108, PP. 77-86. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.77-86>
3. Nazarenko, O., Usov, A., Volkova, M., Kozin, O. (2023) *Mathematical Modeling of the Stress-Strain State of a Plate with Rigid Linear Inclusion and Mixed Boundary Conditions*. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, 1(138), PP. 22-28. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.1.2>
4. Zelenyak, V., Kolyasa, L., Klapchuk, M., Oryshchyn, O., Vozna, S. (2021) *Determining Patterns in Thermoelastic Interaction between a Crack and a Curvilinear Inclusion Located in a Circular Plate*, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/7 (114), PP. 52-58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.24399>
5. Oshri, O., Biswas, S., Balazs, A.C. (2019) *Modeling the behavior of inclusions in circular plates undergoing shape changes from two to three dimensions*. Phys. Rev. E, 100, 043001. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.100.043001>
6. Lavrenyuk, V. I., Lavrenyuk, N. V. (2007) *The Stress–Strain State of a Plate with a Multilayer Inclusion*. International Applied Mechanics, 43, 3, PP.329-334.
7. Rana, A.K., Paulb, S.K., Deya, P.P. (2019) *Stress field in an isotropic elastic solid containing a circular hard or soft inclusion under uniaxial tensile stress*. Materials Today: Proceedings, 11, PP. 657 – 666. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.024>
8. Katsikadelis, J.T. (2016). *The Boundary Element Method for Engineers and Scientists: Theory and Applications* (Second Edition), Academic Press, 446 p.
9. Gwinner, J., Stephan, E.P. (2018) *Advanced Boundary Element Methods: Treatment of Boundary Value, Transmission and Contact Problems*, Springer, 652 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92001-6>
10. Banjai, L., Sayas, F.-J. (2022) *Integral Equation Methods for Evolutionary PDE: A Convolution Quadrature Approach*, Springer, 268 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-13220-9>
11. Shvabyuk V., Sulym H., Mikulich O. (2015) *Stress State of Plate with Incisions under the Action of Oscillating Concentrated Forces*, Acta Mechanica et Automatica, 9(3), 140-144. <https://doi.org/10.1515/ama-2015-0023>
12. Шваб'юк В.І., Фурс Т.В., Коменда Н.В., Мікуліч С.Б. (2023) *Інтегральні рівняння задачі дифракції хвиль у пружних середовищах з включеннями за дії нестационарних навантажень*. Наукові нотатки, 75, Луцьк, С. 95-99. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2023>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.11.2025	Received in revised form 12.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A. O. Saysky

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2943-2873>
Applied Mathematics and Mechanics Department
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

M.V. Delyavsky

D.Sc. in Engineering, Professor: <https://orcid.org/0000-0001-6952-0870>
Applied Mathematics and Mechanics Department
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

S. B. Mikulich*

PhD-student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3287-217X>
Applied Mathematics and Mechanics Department
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

* corresponding author, e-mail: stas_lutsk@ukr.net

Influence of inclusion sizes on the stress state of plate elements under dynamic loading

How to Cite:

Syasky, A. O., Delyavsky, M. V., Mikulich S. B. (2025). The influence of the geometry of the inclusion on the stress state of plate elements under dynamic loading. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 24, 516-524. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-44](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-44)

Abstract. The article presents the results of a study on the assessment of the influence of rigid inclusions on the stress state of plate elements of structures under the action of uniaxial dynamic loading. To solve the problem, the method of boundary integral equations and the apparatus of the theory of functions of a complex variable were used. This approach allowed reducing the solution of the problem to a system of singular integral equations. The selection of irregular features of the integrand functions and the use of the Plemel-Sohotsky formulas at the limit transition allowed us to write the integral equations in a form convenient for numerical solution.

The use of the conformal mapping method allowed us to apply the proposed approach to study the stress state of plate elements with inclusions of practically arbitrary smooth shape. For numerical implementation, the methods of mechanical quadrature and collocation were used. The numerical analysis of the stress state was carried out on the basis of the study of the distribution of dynamic stresses in infinite plates with rigid inclusions of rectangular forms under the action of axial impulse loading. Comparison of numerical results allowed us to analyze the concentration of stresses for inclusions of various shapes. An analysis of the distribution of dynamic stresses at the boundary between the inclusion and the matrix at different stages of load application was also carried out. Based on numerical calculations, it was established that with increasing inclusion length, the stress distribution changes. It was also established that during high-frequency oscillations, the values of both hoop and normal stresses are practically the same and do not depend on the inclusion size. Based on the corresponding results, points on the boundary of the inclusion and the plate element with the maximum concentration of stresses were determined. This approach allows us to ensure the strength and reliability of the corresponding connection elements.

Keywords: stress state, dynamic loading, inclusion, integral equation method, uniaxial tension

УДК 691.32

С. В. Ткач*

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5626-785X>

Кафедра автомобільних доріг та аеродромів

Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029

С. О. Кровяков

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0800-0123>

Кафедра автомобільних доріг та аеродромів

Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029

*автор-кореспондент, e-mail: tkach.serhii@ukr.net

Вітчизняний бітум, модифікований різними класами добавок

Цитувати як:

Ткач, С. В., Кровяков, С. О. (2025). Вітчизняний бітум, модифікований різними класами добавок. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 525-538. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-45](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-45)

© 2025, Ткач С. В., Кровяков С. О.

У статті розглянуто можливості підвищення ефективності використання бітуму нафтового дорожнього українського виробництва шляхом модифікування його добавками різних класів: полімерними, адгезійними та синтетичними восками. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю покращення якості дорожніх покриттів в умовах відновлення інфраструктури України, зокрема в деокупованих і прифронтових районах. Основну увагу приділено удосконаленню фізико-механічних характеристик бітумі, що призводить до збільшення довговічності та стійкості до сучасних навантажень.

У роботі проаналізовано сучасний стан виробництва та застосування бітумів в Україні, а також узагальнено результати досліджень, присвячених різним типам модифікаторів – полімерним, адгезивним та синтетичним воскам.

В якості основи дослідження використано бітум БНД 70/100 Кременчуцького НПЗ, модифікований дев'ятьма добавками, серед яких чотири полімери (Calprene 501, PDL S501T SBS, Elvaloy 741, Kraton D1101 ASM), три синтетичні воски (Asphalten A, Asphalten B, Sasobit) та дві адгезійні добавки (AdHebit LA-1245, Wetfix BE). Модифікація проводилась кожною добавкою окремо без їх комбінацій. Дослідження проводились згідно з чинними національними стандартами з урахуванням рекомендованих виробниками дозувань та температурно-часових режимів модифікації. Для кожного класу добавки було застосовано однакові умови модифікації.

Отримані результати показали, що використання полімерів суттєво підвищує температуру розм'якшення бітуму та знижує пенетрацію, покращуючи таким чином теплостійкість матеріалу. Синтетичні воски виявили позитивний вплив на бітум, зокрема забезпечили збільшення температури розм'якшення із збереженням його еластичності. Адгезійні добавки значно покращують зчеплюваність бітуму з мінеральними матеріалами та не мають суттєвого впливу на показники температури розм'якшення та пенетрації.

Отримані дані є важливими для подальших досліджень, спрямованих на вдосконалення складів бітумів і розробку нових технологічних рішень для потреб післявоєнного відновлення дорожньої інфраструктури України.

Ключові слова: бітум нафтовий дорожній, модифікація, полімер, синтетичний віск, адгезійна добавка.

Вступ

Розгалужена мережа та якісний стан покриття автомобільних доріг є невід’ємною складовою успішної та розвинутої країни. В Україні після початку повномасштабного вторгнення, нажаль, немає достатніх ресурсів для подальшого розвитку транспортних мереж. Першочерговою задачею стало відновлення верхніх шарів дорожнього одягу на деокупованих та прифронтових територіях, та здійснення робіт щодо експлуатаційного утримання існуючої мережі шляхів.

Найбільш розповсюдженим та швидким у влаштуванні покриттям автомобільних доріг є асфальтобетонне. В’язучий компонент для виготовлення асфальтобетонної суміші є бітум нафтовий дорожній. Зазвичай вміст бітуму в асфальтобетонній суміші становить 4,5–7,0% від її маси. В Україні відсутня широка конкуренція виробників нафтового дорожнього бітуму та згідно з практичними спостереженнями, характеристики цього бітуму переважно відповідають лише мінімально допустимим значенням, встановленим національними стандартами. Незважаючи на це, використання вітчизняного бітуму залишається пріоритетом для українських підрядників через його доступність за ціною та зручну логістику постачання на виробничі об’єкти. Застосування модифікуючих добавок до дорожнього бітуму дозволяє істотно покращити фізико-механічні властивості як самого в’язучого, так і асфальтобетонної суміші. Підвищення якості асфальтобетону дозволяє покращити довговічність покриття. Тому актуальною задачею сьогодення є покращення характеристик бітуму вітчизняного виробництва за рахунок застосування сучасних модифікаторів різних класів, які представлені на вітчизняному ринку.

Аналіз досліджень і публікацій

Виробництво нафтових бітумів є одним із напрямків нафтопереробки. Останнім часом до якісних показників бітумів нафтових дорожніх висуваються все більш жорсткі вимоги. Однією з проблем бітумного виробництва є погана якість сировини, зокрема використання залишків переробки парафіністих нафт. Ця проблема особливо актуальна для українських виробників бітуму, оскільки основна частина нафт, які видобуваються на території України є якраз парафіністими [1].

Значним недоліком звичайного асфальтобетону є те, що він вразливий до підвищеної температури літку та зниженої взимку, що призводить до утворення на покриттях значних деформацій – колії, хвилі, зсуви та тріщини [2].

З огляду на вищевказане, використання модифікуючих добавок різних класів – неодмінна умова створення якісних в'язучих матеріалів для приготування асфальтобетонних сумішей. Дослідження їх ефективності допомагає краще підібрати модифікатори та умови їх використання під час проєктування автомобільних доріг [3]. В дослідженнях багатьох авторів, для модифікації бітумів використовуються різні типи добавок, такі як полімерні, адгезивні та синтетичні воски [4-9]. Бітуми переважно мають низьку зчеплюваність (адгезію) з більшістю щелебених матеріалів, що використовують в ремонті та будівництві автомобільних доріг. Це є причиною різкого падіння водостійкості асфальтобетону, в наслідок чого, утворення на покриттях пошкоджень. Тому для покращення зчеплюваності бітуму з кам'яними матеріалами та покращення водостійкості асфальтобетону у бітум вводять адгезійні добавки [4]. Отже, адгезійні добавки значно покращують зчеплюваність бітуму з кам'яними матеріалами, що надає високої водостійкості асфальтобетону й запобігає утворенню на покриттях лущення, вибоїн та ям [5].

Добавки на основі синтетичних восків підвищують в'язкість бітуму за помірних (за значенням пенетрації за температури 25 °C) та за високих температур експлуатації (за значенням динамічної в'язкості за температури розм'якшеності за кільцем і кулею) [6].

Використання модифікуючих добавок для бітумів (комплексна добавка AVE 18, енергозберігаюча добавка Veleton, синтетичний віск з енергозберігаючим ефектом, полімер ELVALOY) мають однаковий вплив на характеристики бітуму, але в різних мірах, а саме: зменшення пенетрації та розтяжності при збільшені температури розм'якшення [7].

Найперспективнішим напрямком у підвищенні якості бітумних в'язучих, з метою одержання дорожнього покриття з високими експлуатаційними характеристиками, є їх модифікування різної природи полімерами [8].

У дослідженнях Чугуєнка С. А. показана доцільність виробничого застосування асфальтополімербетонів з помірним вмістом полімеру у бітумі (близько 3,0-3,5 % - СБС; 1,7-1,8 % - Elvaloy; 5-7 % - ЕВА). Застосування асфальтополімербетонів на бітумах, що містять більше 5 % СБС, доцільне на спеціальних об'єктах (мостах, злітно-посадочних смугах і ін.) за умови виконання всіх технологічних вимог до приготування в'язучих, асфальтополімербетонних сумішей і улаштування з них покриттів [9].

Високу популярність мають термоеластоласти (наприклад Calprene, Kraton D та PDL S501 T SBS), яка обумовлена широким діапазоном їх дії. Вони надають бітуму високої еластичності (60-90%), що дає змогу бітумам працювати в пружній стадії з мінімальною залишковою деформацією, збільшують когезійну міцність та температуру розм'якшеності бітумів. Водночас вони покращують низькотемпературну поведінку в'язучого:

збільшують розтяжність та penetрацію за 0 °С, зберігають або знижують температуру крихкості [10].

Головною перешкодою, що не дає широкого застосування бітумів модифікованих полімерами (особливо термоеластопластами), є їх висока вартість. Вартість такого модифікованого бітуму у 1,5–2,5 рази більша за вартість не модифікованих бітумів. Тому важливо досліджувати не дорогі речовини, які б покращували експлуатаційні характеристики бітумів [8].

Таким чином, використання модифікаторів дозволяє ефективно впливати на властивості дорожнього бітуму. На ринку України існує широкий вибір модифікаторів бітуму нафтового дорожнього, призначених для покращення його характеристик, а відповідно і характеристик готового асфальтобетону. Визначення оптимальної кількості та комбінації добавок для забезпечення покращених характеристик асфальтобетонів є актуальною задачею для України, а особливо важливою для післявоєнного відновлення країни.

Метою роботи є визначення ступеню впливу модифікаторів різних типів на характеристики бітуму.

Матеріали і методи досліджень

За основу було взято бітум марки БНД 70/100, поставлений на асфальтобетонний завод в Одеську область з Кременчуцького НПЗ.

Для модифікації бітуму використали наступні добавки:

- полімер Calprene 501 виробництва DYNASOL ELASTOMEROS, Іспанія [11];
- полімер PDL S 501 T SBS (лінійний) виробництва ТОВ «Торговий дім АРОН», Україна [12];
- полімер KRATON D1 101 ASM виробництва Kraton Polymers, Нідерланди [13];
- полімер ELVALOY 741 виробництва DuPont, Швейцарія [14];
- віск синтетичний Asphalten A виробництва ТОВ «Торговий дім АРОН», Україна [15];
- віск синтетичний Asphalten B виробництва ТОВ «Торговий дім АРОН» [16];
- віск синтетичний Sasobit виробництва Sasol Germany GmbH, Німеччина [17];
- адгезивна добавка AdHebit LA-1245 виробництва ТОВ «Торговий дім АРОН», Україна [18];
- адгезивна добавка Wetfix BE виробництва Nouryon Surface Chemistry, Швеція [19].

Відповідно до рекомендацій виробників було прийнято наступне дозування модифікаторів в бітум: полімер 3% від маси бітуму, віск синтетичний 1,5% від маси бітуму, адгезійна добавка 0,4% від маси бітуму.

Температура модифікації та тривалість змінювалась відповідно типу модифікатора, а саме: полімери при температурі 180 °С та тривалістю 3 години, віск синтетичний та адгезійна добавка – 140 °С та 0,5 години.

Результати досліджень. Після модифікування добавками були проведені випробування [20-23] та отримано результати, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики вихідного не модифікованого бітуму та бітуму при модифікуванні добавками

№	Найменування показників	БНД 70/1000 Кременчуцький Без добавок	БНД 70/100 + модифікуюча добавка, % мас									Вимоги		
			Полімери				Воски			Адгезивні		ДСТУ 9116:2021 для марки БМПА 50/70-60	СОУ 42.1 -37641918-068:2017 для марки БМВ 40/60	Вимоги для БНДА 70/100
			Calprene 501	PDL S 501T SBS	ELVALOY 741	Kraton D1101 ASM	Asphalten A	Asphalten B	Sasobit	AdHebit LA-1245	Wetfix BE			
			3,0%				1,5%			0,4%				
1	Однорідність	Без згустків та частинок добавки									Без згустків та частинок добавки			
2	Глибина проникності голки (пенетрація), м·10 ⁻⁴ (0,1 мм) за температури 25 °С	71	44	49	62	34	55	61	52	72	71	51-70	40-60	71-100
3	Температура розм'якшення сті за кільцем і кулею, °С	46,5	61,0	56,8	60,2	58,3	63,5	52,6	57,1	46,4	48,0	не нижче 60	не нижче 62	45-51
4	Розтяжність (дуктильність), м·10 ⁻² за температури 25 °С	>100	>100			65	>100					не менше 6	не менше 20	не менше 60
5	Еластичність, %	-	63	82	58	72	-					Не менше 55	-	-

Твердість та теплостійкість модифікованих бітумів відображені на рисунку 1. Аналіз всіх результатів показує:

- За додавання полімерів Calprene 501 та Kraton D1101 ASM твердість бітуму була найбільша, з показниками пенетрації $44 \text{ м} \cdot 10^{-4}$ та $34 \text{ м} \cdot 10^{-4}$ відповідно. Найменший вплив на пенетрацію бітуму був при додаванні полімеру Elvaloy 741, синтетичного воску Asphalten B та адгезивних добавок;

- найбільше підвищили теплостійкість полімери, при їх додаванні температура збільшилась на $10,3 - 14,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а також синтетичні воски Sasobit на $10,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і Asphalten A – $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

- тільки полімер Kraton D1101 ASM знизив дуктильність бітуму до 65 см, тоді як при застосуванні інших модифікаторів показник $> 100 \text{ см}$;

- найкраща еластичність полімерів була в добавок Kraton D1101 ASM з показником 72 % та PDL S5501T SBS – 82 % (рис.2);

- адгезивні добавки не впливають суттєво на показники, які розглядались.

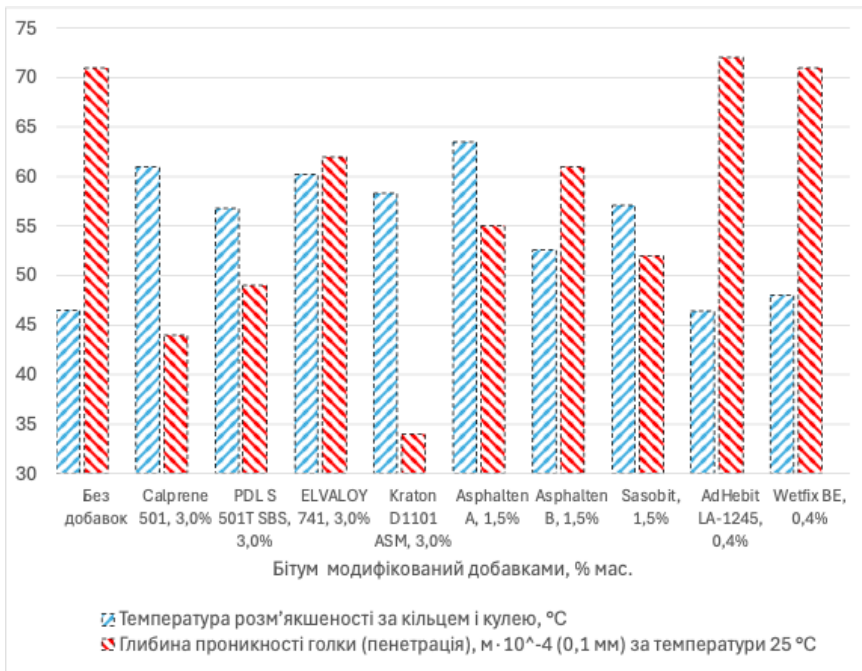


Рис. 1. Вплив модифікаторів на показник температури розм'якшеності за кільцем та кулею та глибини проникнення голки (пенетрації)

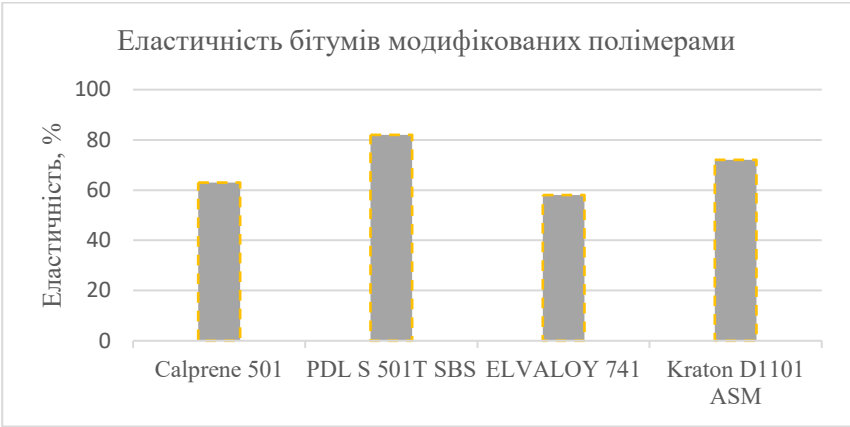


Рис. 2. Еластичність бітумів модифікованих полімерами

Також перевірялось зчеплюваність модифікованого бітуму з гранітним щебенем фракції 10-20 мм [24], результати зображені в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати випробувань зчеплення бітуму БНД 70/100 виробництва Кременчуцького НПЗ з щебенем.

Бітум модифікований добавкою, % мас.	Фото зразків	Оцінка якості зчеплюваності, бали
БНД 70/100 без модифікатора		3,0
БНД 70/100 +3,0% Calprene 501		3,5

БНД 70/100 +3,0% PDL S 501 T SBS		4,0
БНД 70/100 +3,0% Elvaloy 741		3,5
БНД 70/100 +3,0% KRATON D 1101 ASM		3,5
БНД 70/100 +1,5% Asphalten A		5,0
БНД 70/100 +1,5% Asphalten B		3,0
БНД 70/100 +1,5% Sasobit		4,5

БНД 70/100 + 0,4% AdHebit LA-1245		4,5
БНД 70/100 +0,4% Wetfix BE		5,0

Аналіз результатів випробувань свідчить про те, що модифікатори мають різний вплив на зчеплюваність бітуму з щебенем, як покращують, так і особливо не впливають його значення. Полімери загалом не погіршують зчеплювальність, але і не забезпечують значного покращення, окрім PDL S 501 T SBS, який підвищує зчеплюваність до 4,0 балів. Найефективнішим модифікатором з точки зору покращення зчеплюваності є Asphalten A (5,0 балів), адгезивні добавки (AdHebit LA-1245, Wetfix BE) також забезпечують високе зчеплювання (4,5-5,0 бали).

Висновки

1. Проведені дослідження показали, що додавання модифікуючих добавок до дорожнього бітуму марки БНД 70/100 суттєво впливає на основні фізико-механічні показники матеріалу, зокрема на температуру розм'якшення, penetрацію, еластичність та адгезійні властивості.

2. За результатами випробувань, полімерні модифікатори (Calprene 501, PDL S 501T SBS, ELVALOY 741, Kraton D1101 ASM) сприяють підвищенню температури розм'якшення з 46,5 °C до 56,8–61,0 °C та забезпечують еластичність бітуму в межах 58–82 %, що перевищує мінімальні вимоги стандартів для модифікованих бітумів (не менше 55 %). Це свідчить про підвищення теплостійкості, пружності дорожнього покриття в умовах високих температур.

3. Додавання воскових добавок забезпечує помірне підвищення температури розм'якшення при збереженні високої розтяжності (>100 см), що позитивно впливає на технологічність бітуму під час укладання асфальтобетонних сумішей.

4. Використання адгезивних добавок (AdHebit LA-1245, Wetfix BE) покращує адгезійні властивості бітуму та сприяє підвищенню зчеплення з мінеральними матеріалами, що є важливим фактором

підвищення довговічності покриттів, особливо за умов підвищеної вологості.

5. Виявлено, що найкращі комплексні показники продемонстрували зразки, модифіковані полімером PDL S 501T SBS та ELVALOY 741. Такі бітумні композиції можуть бути рекомендовані для виробництва асфальтобетонних сумішей та бітумополімерних емульсій для верхніх шарів покриттів автомобільних доріг, вулиць, мостових переходів.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Nagurskyy A.O. Modification of bitumen from paraffinic with rubbers and rubber crumb: The thesis for a scientific degree of doctor of philosophy in technical sciences in specialty: Natsional'nyy universytet "L'viv's'ka politekhnika". L'viv, 2018 p. C. 20. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1486/avtorefnagurskiy.pdf>.
2. Harkusha M. V. Analiz vynyknennia koliinosti na asfaltobetonnomu pokrytti nezhorstkoho dorozhnogo odiahu. «Dorogi i mosti», 2019 Issues 17, pp. 27-41. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/vipusk_17.pdf.
3. M. I. Donchenko, O. B. Grynshyn. Investigation of resistance of modified bitumines to technological aging. Chemistry, Technology and Application of Substances. Vol. 5. №1, L'viv. 2022 p. Pp. 56-60. doi.org/10.23939/ctas2022.01.056.
4. Demchuk, Y., Sidun, I., Gunka, V., Pyshyev, S., Solodkyy, S. Effect of Phenol-Cresol-Formaldehyde Resin on Adhesive and Physico-Mechanical Properties of Road Bitumen. Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine. CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY. 2018. Vol. 12, No. 4, pp. 456–461. <https://doi.org/10.23939/chcht12.04.456>
5. Shymchuk O.P. Structure and properties based bitumen modifiers. Modern technologies and methods of calculations in construction, 2, Lutsk. 2014 p. pp. 147-151. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMA_GE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/stmrb_2014_2_30.pdf
6. Ivan Kopynets, Oksana Sokolova, Oleksii Sokolov, Alina Yunak Impact of additives based on synthetic waxes on the operational and processing characteristics of bitumen. «Dorogi i mosti». 2019. Issues 19-20. pp. 107-116

doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.107

7. Tkach S.V., Kroviakov S.O. The effect of different types of modifiers on the properties of bitumens and asphalt concrete based on them. Building materials and techniques, 2025, №12, C. 102-113 <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2025-12-102-113>

8. Demchuk Yu. Ya. Bitumen modified by resins obtained from phenolic fraction of coal tar. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript: Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, 2020. p. 213 URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/radaphd/5664/disertaciya-demchuk.pdf>

9. Chuguenko Sergey Anatolievych. Shift resistance of asphalt concrete on bitumen modified with polymers. - Manuscript: Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2006, p. 24 URL: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/6312/1/aref_Chuguenko.pdf.

10. S. Y. Solodkyi, Yu. V. Sidun Innovatsiini materialy ta tekhnologii v dorozhnomu budivnytstvi. Chastyna I Materialy ta tekhnologii na osnovi orhanichnykh v'iazhuchykh: navchalnyi posibnyk – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2021 – p. 232.

11. Sertyfikat vidpovidnosti Calprenen 501 URL: https://prologue.com.ua/userfiles/file/data_products/calp501_cert.pdf.

12. Tekhnichniy pasport PDL S 501 T SBS. URL: https://aron.ua/wp-content/uploads/TDS_TEXHICHNIY-PAACIOPT_PDL-S-501-T_05-2024.pdf.

13. Tekhnichniy pasport polimeru KRATON D1101 ASM, URL: <https://sds.kraton.com/product-sds/shared-files/94651/KratonD1101A-2.pdf>.

14. Kharakterystyky polimeru DuPont™ Elvaloy® 741. URL: <https://iigc.mx/Fichas/DuPont-Elvaloy-741.pdf>.

15. Tekhnichniy pasport na visk syntetychnyi Asphalten A, URL: https://aron.ua/wp-content/uploads/TDS_TEXHICHNIY-PAACIOPT_ASPHALTAN-A_06-2024.pdf

16. Tekhnichniy pasport na visk syntetychnyi Asphalten A, URL: https://aron.ua/wp-content/uploads/TDS_TEXHICHNIY-PAACIOPT_ASPHALTAN-B_06-2024.pdf.

17. Sertyfikat vidpovidnosti na visk syntetychnyi Sasobit, URL: https://prologue.com.ua/userfiles/file/data_products/sas_cert.pdf.

18. Tekhnichniy pasport na adhezyvnu dobavku AdHebit LA-1245, URL: https://aron.ua/wp-content/uploads/TDS_TEXHICHNIY-PAACIOPT_AdheBit®-LA-1245_06-2024.pdf.

19. Sertyfikat vidpovidnosti na adhezyvnu dobavku Wetfix BE URL: https://prologue.com.ua/userfiles/file/data_products/wbe_cert.pdf.

20. DSTU 4044:2019. Bitymy naftovi dorozhni vyaz'ki. Tekhnichni umovy. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2020

21. DSTU 9116:2021. Bitymy dorozhni, modyfikovani polimeramy. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2022.

22. SOU 42.1-37641918-068:2017. Bitymy dorozhni vyaz'ki, modyfikovani dobavkamy na osnovi voskiv. Tekhnichni umovy. K.: Derzhavne ahentstvo avtomobil'nykh dorih Ukrainy, 2017.

23. DSTU-N B V.2.7-303:2015. Nastanova shchodo pryhotuvannya ta zastosuvannya bitymiv, modyfikovanykh dobavkamy na osnovi syntetychnykh voskiv. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2016.

24. DSTU 8787:2018 Bitumy ta bitumni v'iazhuchi. Metod vyznachennia zchepliuvanosti zi shchebenem. K.: Minrehionbud Ukrainy. p. 10 c., 2017.

Література

1. Нагурський А. О. Модифікування бітумів з парафіністих залишків каучуками і гумою: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2018 р. С. 20. URL:

<https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1486/avtorefnagursky.pdf>.

2. Гаркуша М. В. Аналіз виникнення колійності на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу. Збірник «Дороги і мости», вип. 17, Київ, 2017 р. С. 27-41. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/vipusk_17.pdf.

3. М. І. Донченко, О. Б. Гринишин Дослідження стійкості модифікованих бітумів до технологічного старіння. Investigation of resistance of modified bitumens to technological aging. Chemistry, Technology and Application of Substances. Vol. 5. №1, Львів. 2022 р. Рр. 56-60. doi.org/10.23939/ctas2022.01.056.

4. Demchuk, Y., Sidun, I., Gunka, V., Pyshyev, S., Solodkyi, S. Effect of Phenol-Cresol-Formaldehyde Resin on Adhesive and Physico-Mechanical Properties of Road Bitumen. Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine. CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY. 2018. Vol. 12, No. 4, pp. 456-461. <https://doi.org/10.23939/chcht12.04.456>

5. Шимчук О.П. Структура і властивості бітумів на основі модифікаторів. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, випуск 2, Луцьк. 2014 р. С. 147-151. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMA_GE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/stmrb_2014_2_30.pdf

6. Копинець І. В., Соколова О. Б., Соколов О. В., Юнак А.Л. Вплив добавок на основі синтетичних восків на експлуатаційні та технологічні властивості бітумів. Збірник наукових праць «ДОРОГИ І МОСТИ». 2019, Київ. Вип. 19-20. с. 107-116 doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.107

7. Tkach S.V., Kroviakov S.O. The effect of different types of modifiers on the properties of bitumens and asphalt concrete based on them. Сучасне будівництво та архітектура, 2025, №12, С. 102-113 <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2025-12-102-113>

8. Демчук Ю.Я. Бітуми, модифіковані смолами, одержаними з фенольної фракції кам'яновугільної смоли: дисертація на здобуття ступеня доктора філософії: Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2020. 213 с. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/radaphd/5664/disertaciya-demchuk.pdf>

9. Чугуєнко С.А. Зсувостійкість асфальтобетонів на бітумах, модифікованих полімерами: Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: Українська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2006, 24 с. URL: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/6312/1/aref_Chuguenko.pdf.

10. С. Й. Солодкий, Ю. В. Сідун Інноваційні матеріали та технології в дорожньому будівництві. Частина 1 Матеріали та технології на основі органічних в'язучих: навчальний посібник – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021 – 232 с.

11. Сертифікат відповідності Calprenen 501 URL:

https://prologue.com.ua/userfiles/file/data_products/calp501_cert.pdf.

12. Технічний паспорт PDL S 501 T SBS. URL: https://aron.ua/wp-content/uploads/TDS_TEXNICHNIY-PASPOPT_PDL-S-501-T_05-2024.pdf.

13. Технічний паспорт полімеру KRATON D1101 ASM, URL: <https://sds.kraton.com/product-sds/shared-files/94651/KratonD1101A-2.pdf>.

14. Характеристики полімеру DuPont™ Elvaloy® 741. URL: <https://iigc.mx/Fichas/DuPont-Elvaloy-741.pdf>.

15. Технічний паспорт на віск синтетичний Asphalten A, URL: https://aron.ua/wp-content/uploads/TDS_TEXNICHNIY-PASPOPT ASPHALTAN-A_06-2024.pdf

16. Технічний паспорт на віск синтетичний Asphalten A, URL: https://aron.ua/wp-content/uploads/TDS_TEXNICHNIY-PASPOPT ASPHALTAN-B_06-2024.pdf.

17. Сертифікат відповідності на віск синтетичний Sasobit, URL: https://prologue.com.ua/userfiles/file/data_products/sas_cert.pdf.

18. Технічний паспорт на адгезивну добавку AdHebit LA-1245, URL: https://aron.ua/wp-content/uploads/TDS_TEXNICHNIY-PASPOPT_AdheBit-LA-1245_06-2024.pdf.

19. Сертифікат відповідності на адгезивну добавку Wetfix BE URL: https://prologue.com.ua/userfiles/file/data_products/wbe_cert.pdf.

20. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [чинний з 12.08.2019] К.: Мінрегіонбуд України, 2020. 14 с. (Національний стандарт України).

21. ДСТУ 9116:2021 Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. [чинний з 18.10.2021] К.: Мінрегіонбуд України, 2022. 15 с. (Національний стандарт України).

22. СОУ 42.1-37641918-068:2017 Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками на основі восків технічні умови. [чинний з 30.06.2017] К.: державне агентство автомобільних доріг України, 2017. 23 с. (Стандарт Організації України).

23. ДСТУ-Н Б В.2.7-303:2015 Настанова щодо приготування та застосування бітумів, модифікованих добавками на основі синтетичних восків. [чинний з 29.04.2015] К.: Мінрегіонбуд України, 2016. 15 с. (Національний стандарт України).

24. ДСТУ 8787:2018 Бітуми та бітумні в'язучі. Метод визначення зчеплюваності зі щебенем. [чинний з 14.08.2018] К.: Мінрегіонбуд України, 2019. 10 с. (Національний стандарт України).

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 14.11.2025	Received in revised form 14.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

S. V. Tkach*

postgraduate, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5626-785X>

Department of highways and aerodromes

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrikhson Str. Odesa, Ukraine, 65029

S. O. Kroviakov

Doctor of Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0800-0123>

Department of highways and aerodromes

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrikhson Str. Odesa, Ukraine, 65029

*corresponding author, e-mail: tkach.serhii@ukr.net

Domestic Bitumen Modified with Various Grades of Additives

How to Cite:

Tkach, S. V., Kroviakov, S. O. (2025). Domestic Bitumen Modified with Various Grades of Additives. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 525-538. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-45](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-45)

Abstract. The article analyses the ways to improve the efficiency of Ukrainian-produced petroleum bitumen by modifying it with the additives of various grades: polymeric, adhesive, and synthetic waxes. The relevance of the study is determined by the need to improve the quality and durability of road surfaces in the context of Ukraine's infrastructure restoration, particularly in de-occupied and frontline areas. The main focus is on the improvement of the physical and mechanical properties of bitumen, which leads to increased durability and resistance to modern loads.

The study provides an overview of the current state of bitumen production and application in Ukraine and summarizes research findings related to various types of modifiers, including polymeric, adhesive, and synthetic waxes additives.

The study was based on BND 70/100 bitumen from the Kremenchug Oil Refinery, modified with nine additives, including four polymers (Calprene 501, PDL S501T SBS, Elvaloy 741, Kraton D1101 ASM), three synthetic waxes (Asphalten A, Asphalten B, Sasobit) and two adhesion additives (AdHebit LA-1245, Wetfix BE). Modification was carried out with each additive separately without their combination. The research was carried out in accordance with the current national standards, considering the recommended dosages and temperature-time modification regimes specified by the manufacturers. The same modification conditions were applied for each additive class. The same modification conditions were applied for each additive class.

The obtained results demonstrated that the polymer additives substantially increase the softening temperature of bitumen and decrease penetration, thereby improving the material's heat resistance. Synthetic waxes had a positive effect on bitumen, in particular, they increased the softening temperature while maintaining elasticity. Adhesive additives were found to significantly enhance the bitumen's adhesion to mineral materials and have no significant effect on softening temperature of bitumen and decrease penetration.

The obtained findings are important for further studies aimed at improving bitumen formulations and developing new technological solutions to support Ukraine's post-war road infrastructure recovery.

Keywords: petroleum road bitumen, modification, polymer, synthetic wax, adhesive additive.

UDC 69.059.4

S. O. Uzhehov

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6976-1279>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

O. A. Uzhehova*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2352-2907>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

O. G. Bondarskyi

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4624-8485>
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

I. V. Zadorozhnikova

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-7528>
Department of Building and Civil Engineering
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

Aleksiiievets V.I.

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1274-888X>
Department of Industrial and Civil Engineering named after E.M. Babych
National University of Water and Environmental Engineering, Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33000

* corresponding author, e-mail: o.uzhehova@lntu.edu.ua

Determination of the load-bearing capacity of reinforced concrete columns

How to Cite:

Uzhehov, S. O., Uzhehova, O. A., Bondarskyi, O. G., Zadorozhnikova, I. V., Aleksiiievets V.I. (2025). Determination of the load-bearing capacity of reinforced concrete columns. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 24, 539-552. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-46](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-46)

© 2025, Uzhehov, S. O., Uzhehova, O. A., Bondarskyi, O. G., Zadorozhnikova, I. V., Aleksiiievets V.I.

Abstract. Reinforced concrete structures, when properly maintained, are reliable and retain their original (design) characteristics throughout the entire life of the building. Even after dismantling, they can be reused, provided that their load-bearing capacity has been verified beforehand. The load-bearing capacity of existing building structures must also be determined during the reconstruction of buildings and structures, their superstructure, changes in the structural design, increases in payload due to the modernization of technological processes, changes in the purpose of the facility, for quality control of the completed building structure, etc.

The aim of the study is to develop an algorithm for calculating the load-bearing capacity of reinforced concrete columns operating with random eccentricities, based on a deformation model.

Reinforced concrete columns are considered as eccentrically compressed elements with random or calculated eccentricities, operating according to the first or second form of equilibrium.

The paper presents cross-section diagrams, deformation distribution, stress diagrams, and formulas for determining the load-bearing capacity of reinforced concrete columns under various possible conditions of compressive force application and corresponding deformations in the cross-sections of eccentrically compressed elements. An algorithm has been developed for calculating the stability of reinforced concrete columns operating with random eccentricities. All initial data are obtained as a result of instrumental inspection of existing structures, using normative literature. The load-bearing capacity of the reinforced concrete column on the first floor of a public building scheduled for reconstruction with the addition of a third floor was determined using a specially developed algorithm. This value is compared with the calculated compressive load according to the reconstruction project, and a conclusion is made about the adequacy of the load-bearing capacity or the need to reinforce the column.

Keywords: load-bearing capacity, non-destructive testing, calculation, compression, reinforced concrete column, equilibrium form.

Introduction

Reinforced concrete is a very durable material due to its strength, surface hardness, high density, weather resistance, biological resistance, water resistance, frost resistance, etc. Under proper operating conditions, reinforced concrete structures are reliable and retain their initial (design) characteristics throughout the entire life of the building.

When, due to various circumstances, it becomes necessary to dismantle the entire building or part of it, a project is developed according to which the existing reinforced concrete structures are to be dismantled, stored and possibly reused in new design solutions.

Before reuse, it is necessary to inspect the dismantled structure, take measurements, identify all existing defects, determine the strength of the concrete, the quantity and strength of the existing working reinforcement using instrumental research methods, and, as a result, determine the load-bearing capacity of the dismantled reinforced concrete structure.

The load-bearing capacity of existing building structures must also be determined during the reconstruction of buildings and structures, their superstructure, changes in the structural design, increases in payload due to the modernisation of technological processes, changes in the purpose of the facility, for quality control of the completed building structure, etc.

The aim of the study: determination of the stability of reinforced concrete columns.

Research objectives: develop an algorithm for calculating the stability of reinforced concrete columns operating with random eccentricities.

Research methodology. The calculation of the stability of reinforced concrete structures is based on a deformation model. Reinforced concrete

columns are considered as eccentrically compressed elements with random or calculated eccentricities, operating according to the first or second form of equilibrium.

When using a simplified concrete deformation diagram, two forms of cross-section equilibrium are considered:

- the first form of equilibrium (Figs. 1, 2, 3) is observed when the entire cross-section is compressed and the conditional height of the compressed zone x exceeds the height of the cross-section h ;

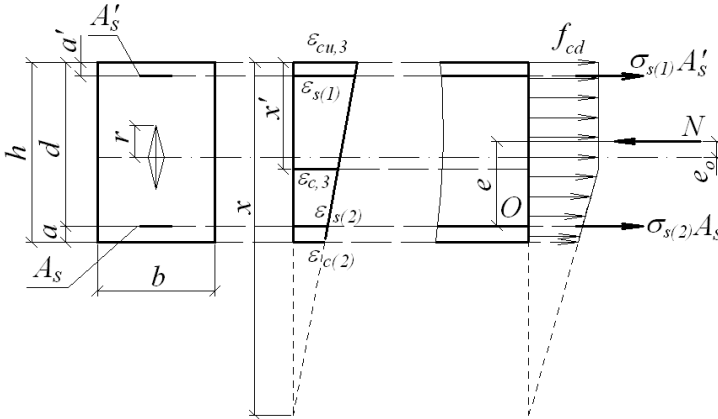


Fig. 1. The first form of equilibrium of a compressed element, general case

- the second form of equilibrium (Figs. 4, 5) is characteristic of cases where part of the cross-section of the element is compressed and the other part is stretched, i.e., the height of the compressed zone x is less than the height of the cross-section h .

Let us consider the deformation model (Fig. 1). Deformations in concrete are distributed proportionally: $\frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} = \frac{\varepsilon_{c(2)}}{x-h}$, where $x = h \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} - \varepsilon_{c(2)}}$.

Deformations $\varepsilon_{c(2)} = \varepsilon_{cu,3} (1 - e_0 / r)$. The greatest stress in concrete is in the more compressed zone $\sigma_{c(1)} = \varepsilon_{cu,3} E_{cd} = f_{cd}$. The least stress in concrete in the less compressed zone: $\sigma_{c(2)} = \varepsilon_{c(2)} E_{cd} = f_{cd} \frac{x-h}{x-x'}$.

Deformations in the reinforcement of the more compressed zone (Fig. 1) from the proportion $\frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} = \frac{\varepsilon_{s(1)}}{x-a'}$, where $\varepsilon_{s(1)} = \frac{\varepsilon_{cu,3}(x-a')}{x}$. Stress in this reinforcement $\sigma_{s(1)} = \varepsilon_{s(1)} E_s$. Deformations in the reinforcement of the less

compressed zone (Fig. 1) with a ratio of: $\frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} = \frac{\varepsilon_{s(2)}}{x-d}$ where $\varepsilon_{s(2)} = \frac{\varepsilon_{cu,3}(x-d)}{x}$. Stress in this reinforcement $\sigma_{s(2)} = \varepsilon_{s(2)}E_s$.

When all internal forces are projected onto the axis of the element, the load-bearing capacity can be determined from the equilibrium condition (Fig. 1):

$$N = \sigma_{s(1)}A'_s + f_{cd}b \left[x' + 0,5(h-x') \left(1 + \frac{x-h}{x-x'} \right) \right] + \sigma_{s(2)}A_s.$$

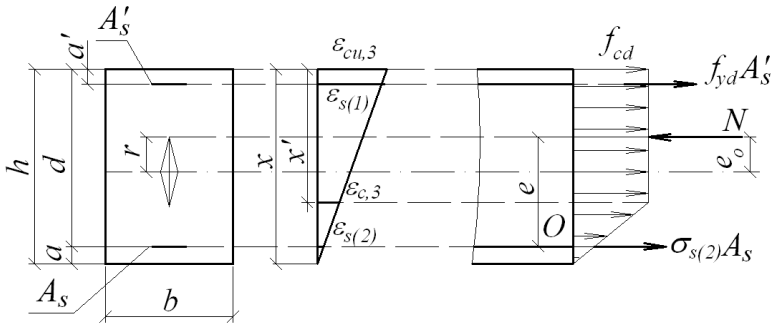


Fig. 2. The first form of equilibrium of a compressed element, a special case under the condition $e_0 = r$

Under the condition $e_0 = r$ the deformation in the reinforcement of the more compressed zone (Fig. 2) is proportional to $\frac{\varepsilon_{cu,3}}{h} = \frac{\varepsilon_{s(1)}}{h-a'}$, where

$$\varepsilon_{s(1)} = \frac{\varepsilon_{cu,3}(h-a')}{h}. \text{ Stress in this reinforcement } \sigma_{s(1)} = \varepsilon_{s(1)}E_s = f_{yd}.$$

Deformations in the reinforcement of the less compressed zone (Fig. 2) with a ratio of $\frac{\varepsilon_{cu,3}}{h} = \frac{\varepsilon_{s(2)}}{a}$, where $\varepsilon_{s(2)} = \frac{\varepsilon_{cu,3}a}{h}$. Stress in this reinforcement $\sigma_{s(2)} = \varepsilon_{s(2)}E_s$.

Given the strength relative to the axis passing through the centre of gravity of the stretched reinforcement, the holding capacity will be:

$$N = \left[f_{yd}A'_s(d-a') + f_{cd}b \frac{h+x'}{2} \left(d - \frac{h+x'}{4} \right) \right] / e.$$

Provided that $\varepsilon_{c,3} < \varepsilon_{c,2} < \varepsilon_{cu,3}$ (Fig. 3), the bearing capacity of the compressed element is determined by the strength condition relative to the axis passing through the centre of gravity of the tensioned reinforcement:

$$N = [f_{yd}A'_s(d - a') + f_{cd}bh(0,5h - a)] / e.$$

When all internal forces are projected onto the axis of the element, the compressive force can also be determined from the equilibrium condition (Fig. 3):

$$N = f_{yd}A'_s + f_{cd}bh + f_{yd}A_s.$$

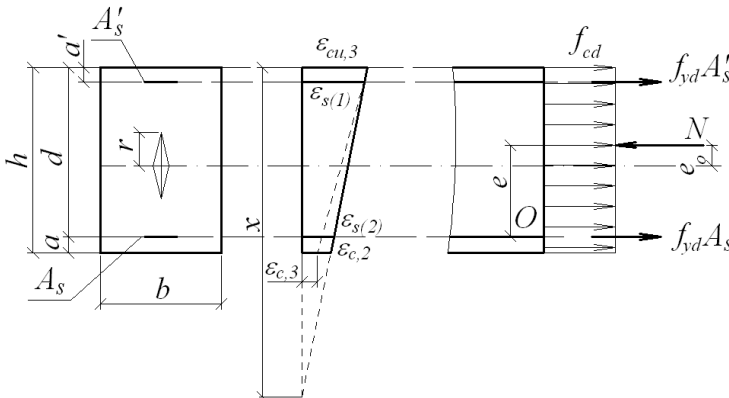


Fig. 3. The first form of equilibrium of a compressed element, a special case when $\varepsilon_{c,3} < \varepsilon_{c,2} < \varepsilon_{cu,3}$

If an eccentrically compressed reinforced concrete element operates with significant eccentricities, then a second form of equilibrium is observed, and the stresses in the compressed concrete can be distributed according to a bilinear diagram (Fig. 4) or a rectangular diagram (Fig. 5).

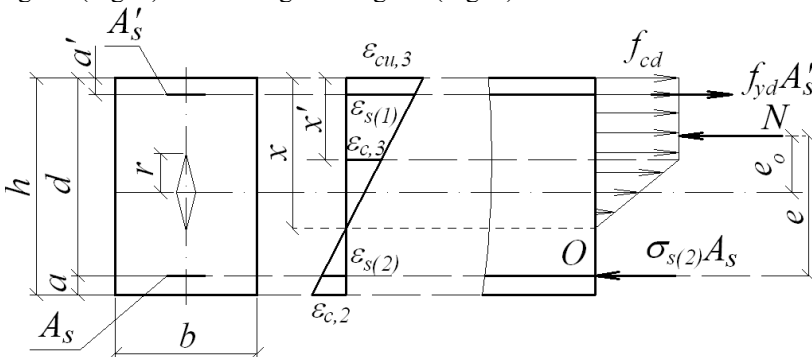


Fig. 4. The second form of equilibrium of a compressed element with stress distribution in concrete according to a two-line diagram

At the limit state (Fig. 4), the height of the compressed part of the cross-section is $x = x_R = \xi_R d$. According to the deformation model $\frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} = \frac{\varepsilon_{c,3}}{x - x'}$, where $x' = x \frac{\varepsilon_{cu,3} - \varepsilon_{c,3}}{\varepsilon_{cu,3}} = x_R \frac{\varepsilon_{cu,3} - \varepsilon_{c,3}}{\varepsilon_{cu,3}}$. The stresses in the reinforcement of the compressed zone reach their limit value $\sigma_{s(1)} = \varepsilon_{s(1)} E_s = f_{yd}$.

From the condition of strength relative to the axis passing through the centre of gravity of the stretched reinforcement, the holding capacity:

$$N = \left[f_{yd} A'_s (d - a') + f_{cd} b \frac{x_R + x'}{2} \left(d - \frac{x_R + x'}{4} \right) \right] / e.$$

If the stress diagram in concrete is considered rectangular (Fig. 5), then based on the condition of cross-sectional strength relative to the axis passing through the centre of gravity of the tensioned reinforcement, the holding capacity will be:

$$N = \left[f_{yd} A'_s (d - a') + f_{cd} b \lambda x_R (d - 0,5 \lambda x_R) \right] / e.$$

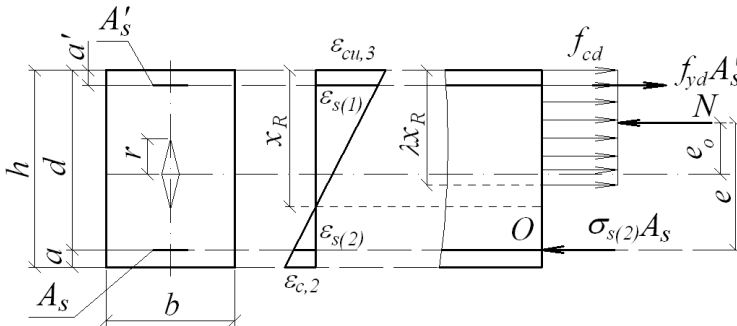


Fig. 5. The second form of equilibrium of a compressed element with stress distribution in concrete according to a rectangular diagram

Results and discussion

The scientific research construction laboratory of LNTU, which operates within the Department of Building and Civil Engineering, provides qualified services for the inspection of building structures and structures. The laboratory specialists measure structures, examine them using non-destructive testing methods, determine the strength of concrete, the presence of reinforcement, its diameter, strength, and the protective layer of concrete. Fig. 6 shows photographs

of some inspections of reinforced concrete columns.



Fig. 6. Instrumental examination of columns

Based on the results of instrumental studies, the load-bearing capacity of columns is calculated and conclusions are drawn (confirmation of the declared quality of the structure, the possibility of further operation or reuse of dismantled elements, etc.).

The load-bearing capacity of existing reinforced concrete columns with a square cross-section, which are designed to operate with random eccentricities, is calculated using the following algorithm:

<i>Initial data:</i> dimensions of the structure b, h, l , mm, (based on measurement results); concrete strength f_{cd} (determined using a Schmidt hammer, BETON PRO CONDROL device or other) and concrete class C ; protective layer of concrete, mm; diameter, number of working reinforcement bars and their strength f_{yd} set using the POISK-M device); reinforcement area A_s, A'_s mm ² , (according to the assortment); concrete deformation $\varepsilon_{c,3}, \varepsilon_{cu,3}$ (from normative literature, depending on the concrete class C)	
1	Calculate the actual value a, a' taking into account the diameter of the longitudinal reinforcement and the protective layer of concrete
2	Determine the working height of the cross-section $d = h - a$
3	Determine the random eccentricity $e_i \geq \max \{ h/30; l/600; 10_{MM} \}$
4	Determine the distance from the central axis of the cross-section to the core point $r = W_{red} / A_{red} = h / 6$
5	Determine concrete deformations $\varepsilon_{c,2} = \varepsilon_{cu,3} (1 - e_0 / r)$
6	Determine the nominal height of the compressed zone of concrete $x = h \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} - \varepsilon_{c,2}}$
7	Check if the condition is met $\varepsilon_{c,3} < \varepsilon_{c,2} < \varepsilon_{cu,3}$ (Fig. 3)
8	Calculate the eccentricity of the compressive force N relative to the axis passing through the centre of gravity of the reinforcement S : $e = (0,5h - a) + e_i$
9	Determine the moment that perceives the cross-section of the column relative to the axis passing through the centre of gravity of the reinforcement S $M_o = Ne = f_{yd} A'_s (d - a') + f_{cd} b h (0,5h - a)$
10	Calculate the value of the compressive force $N = M_o / e$

11	Determine the moment that perceives the cross-section of the column relative to the axis passing through the centre of gravity of the reinforcement $_s$ $M_{o1} = N(d - e) = f_{yd} A_s (d - a) + f_{cd} b h (0,5h - a')$
12	Calculate the value of the compressive force $N = M_{o1} / (d - e)$
13	From the two values of N obtained in points 10 and 12, select the smaller one. This value corresponds to the load-bearing capacity of the column

Conclusions

The load-bearing capacity of the reinforced concrete column on the first floor of a public building scheduled for reconstruction with the addition of a third floor was determined using the above algorithm. The column cross-section dimensions are 300×300 mm, height 3.0 m, concrete strength 13.71 MPa, as determined by the BETON PRO CONDROL device, which corresponds to concrete class C16/20 with a design strength value of $f_{cd} = 11.5$ MPa. According to DBN, the deformation of C16/20 concrete is $\varepsilon_{c,3} = 0.00058$; $\varepsilon_{cu,3} = 0.00323$. Reinforcement of cross-section 4Ø14A400C, protective layer 25 mm, detected by POISK-M device. Calculated strength of reinforcement 365 MPa. Cross-sectional area $A_s = A'_s = 307,7 \text{ mm}^2$, determined by the assortment. Based on the known reinforcement $a = a' = 25 + 14/2 = 32 \text{ mm}$ is established. Working height $d = 300 - 32 = 268 \text{ mm}$; $e_i = 10 \text{ mm}$; $r = 50 \text{ mm}$; $\varepsilon_{c,2} = 0,00258$; $x = 1490,8 \text{ mm}$; condition $\varepsilon_{c,3} < \varepsilon_{c,2} < \varepsilon_{cu,3}$ is satisfied; $e = 128 \text{ mm}$; $M_o = 148,6 \text{ kNm}$; $N = 1161,2 \text{ kN}$; $M_{o1} = 148,6 \text{ kNm}$; $N = 1061,7 \text{ kN}$. Therefore, the bearing capacity of the inspected column is 1061.7 kN. This value is compared with the calculated compressive load according to the reconstruction project, and a conclusion is made about the adequacy of the bearing capacity or the need to reinforce the column.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest in relation to the current study, including financial, personal, authorship, or any other, that could affect the study, as well as the results reported in this paper.

Funding

The study was conducted without financial support.

Data availability

All data is available in digital or graphic form in the main text of the article.

Use of artificial intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.

References

1. Baloch W.L., Siad H., Lachemi M., Sahmaran M. 12 - Modern assessment techniques to evaluate concrete repairs. *Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of*

Concrete Infrastr. (Second Edition), 2024, 327-348. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13470-8.00010-1>

2. Bao X., Li B. Residual strength of blast damaged reinforced concrete columns. *Int. Journ. of Impact Eng.*, 2010, 37(3), 295-308. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2009.04.003>

3. Habib, A., Yildirim, U., Eren, O. Column repair and strengthening using RC jacketing: a brief state-of-the-art review. *Innov. Infrastruct. Solut.*, 2020, 5, 75. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00329-4>

4. Ye-Eun Kim et al. Proposing Improvements for Blast Resistance Performance of Reinforced Concrete Columns Based on Strength and Ductility Analysis. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2024, 36(4), 337-345. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2024.36.4.337>

5. Krainskyi P, Blikharskiy Z, Khmil R. Experimental Investigation of Reinforced Concrete Columns Strengthened By Jacketing. *JMEST*, 2015, 2(7), 1959-1963. <https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42350952.pdf>

6. Krantovska O., Ksonshkevych L., Synii S. et al. Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *AIP Conf. Proc.*, 2023, 2684(1), 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>

7. Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Synii S. V. et al. Ensuring the functioning of engineering, transport networks thanks to the strengthening of damaged reinforced concrete columns of their structures. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 2024, 22. 80-88. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-08)

8. Mostafa Osman, Ata El-Kareim Shoeib Soliman Behavior of confined column under different techniques. *World Academy of Science, Engineering and Technology*.2014. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1099456>

9. Pan J. L., Gu J., Chen J. H. Theoretical modeling of steel reinforced ECC column under eccentric compressive loading. *Science China Technological Sciences*. 2015. Vol.58 (5): P. 889-898. doi.org/10.1007/s11431-015-5798-z

10. Sezen, Halil, Setzler, Eric J. Reinforcement Slip in Reinforced Concrete Columns. *ACI Structural Journal*; Farmington Hills.2008. P. 280-289. <https://search.proquest.com/openview/755b82f7f2cf923a8050f576dcc5efbf/1?pq-origsite=gscholar&cbl=36963>

11. Shi Y., Stewart M. G. Spatial reliability analysis of explosive blast load damage to reinforced concrete columns. *Structural Safety*, 2015, 53, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2014.07.003>

12. Tytarenko R., Khmil R., Selejdak J., Blikharskiy Y. Influence analysis of the most common defects and damages on the durability (residual resource) of RC members: a review. *LNCE*, 2024, 438, 448–455. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0_45

13. Bondarskiy O. G., Drobyshynets S. Y., Luchynets S. A. Rotko S. V., Uzhehova O. A. Technical inspection of reinforced concrete structures. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 2023, 19, 22-32. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9\(19\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-03)

14. Drobyshynets S. Y., Uzhehova O. A., Bondarskiy O. G., Uzhehov S. O., Rotko S. V., Denychuk V. E. The results of the inspection of the structures of the extension to the public building in Lutsk. *Modern technologies and methods of*

calculations in construction, 2024, 22, 57-66. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-06](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-06)

15. Klymenko Ye.V., Antoniuk N. R., Maksiuta E. V. Carrying capacity of damaged reinforced concrete two-tube columns. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2021, no. 85, page 18-27. <http://visnyk-odaba.org.ua/2021-85/85-2.pdf>

16. Klymenko Y., Kos Z., Grynova I., Crnoja A. Damaged reinforced concrete columns of various flexibility: research and calculation. Monograph // Varaždin, Croatia, 2020. 179 p.

17. Rotko S. V., Uzhehova O. A., Zadoroznikova I. V., Ryabiy O. I. Analysis of the effectiveness of using high-strength concrete in compressed elements of monolithic frame buildings. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 2024, 22, 191-198. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-19](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-19)

18. Pavlikov A. M., Harkava O. V., Barylyak B. A. Rozrakhunok nesuchoyi zdatnosti zalizobetonnykh kolon bezbalkovykh karkasiv. *Novi tekhnolohiyi v budivnytstvi*, 2020, 23-29. <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.38.4>

19. Rotko S. V., Uzhehova O. A., Pasichnyk R. V., Hontar V. O. Tekhnichne obstezhennya konstruksiy tekhpipillya adminbudivli u m. Lutsku. *Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, 2022, 17, 120-130. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7\(17\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7(17)-16)

20. Uzhehova O. A., Uzhehov S. O., Rotko S. V., Zadoroznikova I. V. Rozrakhunok stysnutykh elementiv za pershoju formoyu rivnovahy. *Resursoekonomni materialy, konstruksiyi, budivli ta sporudy*, 2016, 32, 274-281. http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2016_32_39

21. Uzhehova O. A., Uzhehov S. O., Rotko S. V., Samchuk V. P. Rozrakhunok stysnutykh elementiv za druhoju formoyu rivnovahy. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya*, 2016, 61, 432-437. http://nbuv.gov.ua/UJRN/MT_P_2016_61_55

22. Murashko L. A., Kolyakova V. M., Smorkalov D. V. Rozrakhunok za mitsnistyu pereriziv, normalnykh ta pokhylykh do pozdovzhnoyi osi, zhynalnykh zalizobetonnykh elementiv za DBN V.2.6-98:2009: Navchalnyy posibnyk – K.: KNUBA, 2012. – 62 s.

23. Praktychnyy rozrakhunok elementiv zalizobetonnykh konstruksiy za DBN V.2.6-98:2009 u porivnyanni z rozrakhunkom za SNyP 2.0301-84* i EN 1992-1-1 (Eurocode 2) / V. M. Babaev, A. M. Bambura, O. M. Pustovoytov ta in.; za zah. red. V. S. Shmuklera. – Kharkiv: Zoloti storinky, 2015. – 208 s.

24. DBN V.2.6-98:2009 Konstruksiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksiyi. Osnovni polozhennya. Zi Zminoyu № 1. https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3080063210573792873/2023-04-13/adb4cae-8595-4d35-9b22-a858d85864b4.pdf

25. DSTU B V.2.6.-156: 2010. Konstruksiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksiyi z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannya. https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY/dsty_b_v.2.6-156-2010.pdf

26. Eurocode-2: Design of concrete structures. – Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1-1. – [Final draft, december, 2004]. – Brussels: CEN, – 2004. – 225 p. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.1.2004.pdf>

27. DSTU 9273:2024 Nastanova shchodo obstezhennya budivel i sporud dlya vyznachennya ta otsynuyannya yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichnyy opir ta stiykist.
https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu_9273_2024.pdf
28. DBN V.1.2-14:2018 Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob'ektiv. Zahalni pryntsy py zabezpechennya nadiynosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel i sporud. Zi Zminoyu № 1. <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/12/DBN-V1214-2018.pdf>
29. DSTU B V.2.7-220:2009 Budivelni materialy. Betony. Vyznachennya mitsnosti mekhanichnymy metodamy neruynivnoho kontrolyu.
https://dnaop.com/html/59798/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%D0%91%D0%92.2.7-220_2009
30. DSTU B V.2.7-224:2009 Betony. Pravy la kontrolyu mitsnosti.
https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_2_7_224/5-1-0-1867
31. DSTU B V.2.7-226:2009 Budivelni materialy. Betony. Ultrazvukovyy metod vyznachennya mitsnosti.
https://ultracon.com.ua/images/beton.ultrazvukovoy_metod_opredeleniya_prochnosti.pdf

Література

1. Baloch W.L., Siad H., Lachemi M., Sahmaran M. 12 - Modern assessment techniques to evaluate concrete repairs. *Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastr. (Second Edition)*, 2024, 327-348. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13470-8.00010-1>
2. Bao X., Li B. Residual strength of blast damaged reinforced concrete columns. *Int. Journ. of Impact Eng.*, 2010, 37(3), 295-308. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2009.04.003>
3. Habib, A., Yildirim, U., Eren, O. Column repair and strengthening using RC jacketing: a brief state-of-the-art review. *Innov. Infrastruct. Solut.*, 2020, 5, 75. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00329-4>
4. Ye-Eun Kim et al. Proposing Improvements for Blast Resistance Performance of Reinforced Concrete Columns Based on Strength and Ductility Analysis. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2024, 36(4), 337-345. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2024.36.4.337>
5. Krainskyi P, Blikharskiy Z, Khmil R. Experimental Investigation of Reinforced Concrete Columns Strengthened By Jacketing. *JMEST*, 2015, 2(7), 1959-1963. <https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42350952.pdf>
6. Krantovska O., Ksonshkevych L., Synii S. et al. Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *AIP Conf. Proc.*, 2023, 2684(1), 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>
7. Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Synii S. V. et al. Ensuring the functioning of engineering, transport networks thanks to the strengthening of damaged reinforced concrete columns of their structures. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 2024, 22. 80-88. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-08)
8. Mostafa Osman, Ata El-Kareim Shoeib Soliman Behavior of confined column under different techniques. *World Academy of Science, Engineering and Technology*.2014. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1099456>
9. Pan J. L., Gu J., Chen J. H. Theoretical modeling of steel reinforced ECC column under eccentric compressive loading. *Science China Technological Sciences*. 2015. Vol.58 (5): P. 889-898. doi.org/10.1007/s11431-015-5798-z

10. Sezen, Halil, Setzler, Eric J. Reinforcement Slip in Reinforced Concrete Columns. *ACI Structural Journal*; Farmington Hills.2008. P. 280-289. <https://search.proquest.com/openview/755b82f7f2cf923a8050f576dcc5efbf/1?pq-origsite=gscholar&cbl=36963>
11. Shi Y., Stewart M. G. Spatial reliability analysis of explosive blast load damage to reinforced concrete columns. *Structural Safety*, 2015, 53, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2014.07.003>
12. Tytarenko R., Khmil R., Selejdak J., Blikharsky Y. Influence analysis of the most common defects and damages on the durability (residual resource) of RC members: a review. *LNCE*, 2024, 438, 448–455. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0_45
13. Bondarskyi O. G., Drobyshynets S. Y., Luchynets S. A. Rotko S. V., Uzhehova O. A. Technical inspection of reinforced concrete structures. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 2023, 19, 22-32. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9\(19\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-03)
14. Drobyshynets S. Y., Uzhehova O. A., Bondarskyi O. G., Uzhehov S. O., Rotko S. V., Denychuk V. E. The results of the inspection of the structures of the extension to the public building in Lutsk. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 2024, 22, 57-66. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-06](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-06)
15. Klymenko Ye.V., Antoniuk N. R., Maksyuta E. V. Carrying capacity of damaged reinforced concrete two-tube columns. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2021, no. 85, page 18-27. <http://visnyk-odaba.org.ua/2021-85/85-2.pdf>
16. Klymenko Y., Kos Z., Grynova I., Crnoja A. Damaged reinforced concrete columns of various flexibility: research and calculation. Monograph / // Varaždin, Croatia, 2020. 179 p.
17. Rotko S. V., Uzhehova O. A., Zadoroznikova I. V., Ryabiy O. I. Analysis of the effectiveness of using high-strength concrete in compressed elements of monolithic frame buildings. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 2024, 22, 191-198. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-19](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-19)
18. Павліков А. М., Гарькава О. В., Бариляк Б. А. Розрахунок несучої здатності залізобетонних колон безбалкових каркасів. *Нові технології в будівництві*, 2020, 23-29. <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.38.4>
19. Ротко С. В., Ужегова О. А., Пасічник Р. В., Гонтар В. О. (2022). Технічне обстеження конструкцій техпідпілля адмінбудівлі у м. Луцьку. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 17, 120-130. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7\(17\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7(17)-16)
20. Ужегова О. А., Ужегов С. О., Ротко С. В., Задорожнікова І. В. Розрахунок стиснутих елементів за першою формою рівноваги. *Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 2016, 32, 274-281. http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2016_32_39
21. Ужегова О. А., Ужегов С. О., Ротко С. В., Самчук В. П. Розрахунок стиснутих елементів за другою формою рівноваги. *Містобудування та територіальне планування*, 2016, 61, 432-437. http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2016_61_55
22. Мурашко Л. А., Колякова В. М., Сморокалов Д. В. Розрахунок за міцністю перерізів, нормальних та похилих до поздовжньої осі, згинальних залізобетонних елементів за ДБН В.2.6-98:2009: Навчальний посібник – К.: КНУБА, 2012. – 62 с.
23. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунком за СНиП 2.0301-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2) / В. М. Бабаєв, А. М. Бамбура, О. М. Пустовойтов та ін.; за заг. ред. В. С. Шмуклера. – Харків: Золоті сторінки, 2015. – 208 с.

24. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3080063210573792873/2023-04-13/ad4ca1e-8595-4d35-9b22-a858d85864b4.pdf
25. ДСТУ Б В.2.6.-156: 2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY/dsty_b_v.2.6-156-2010.pdf
26. Eurocode-2: Design of concrete structures. – Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1-1. – [Final draft, december, 2004]. – Brussels: CEN, – 2004. – 225 p. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.1.2004.pdf>
27. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu_9273_2024.pdf
28. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/12/DBN-V1214-2018.pdf>
29. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. https://dnaop.com/html/59798/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%D0%91%D0%92.2.7-220_2009
30. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності. https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_2_7_224/5-1-0-1867
31. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. https://ultracon.com.ua/images/beton.ultrazvukovoy_metod_opredeleniya_prochnosti.pdf

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 13.11.2025	Received in revised form 13.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

С. О. Ужegov

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6976-1279>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О. А. Ужегова*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2352-2907>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О. Г. Бондарський

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4624-8485>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

І. В. Задорожнікова

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-7528>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Алексієвцев В.І.

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1274-888X>

Кафедра промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33000

* автор-кореспондент, e-mail: o.uzhehova@lntu.edu.ua

Визначення тримкої здатності залізобетонних колон

Цитувати як:

Ужегов, С. О., Ужегова, О. А., Бондарський, О. Г., Задорожнікова, І. В., Алексійовець В.І. (2025). Визначення несучої здатності залізобетонних колон. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 539-552. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-46](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-46)

Анотація. Залізобетонні конструкції, за умов належної експлуатації, надійні і зберігають свої початкові (проектні) характеристики протягом усього терміну існування будівлі. Навіть після демонтажу їх можна використовувати повторно, встановивши попередньо їх тримку здатність. Визначати тримку здатність існуючих будівельних конструкцій доводиться і при реконструкції будівель та споруд, їх надбудові, зміні конструктивної схеми, збільшенні корисного навантаження внаслідок модернізації технологічних процесів, зміні призначення об'єкту, для контролю якості виконаної будівельної конструкції тощо.

Завданням дослідження є розробка алгоритму розрахунку тримкої здатності залізобетонних колон, що працюють з випадковими ексцентриситетами, в основу якого покладена деформаційна модель.

Залізобетонні колони розглядають як позацентрово стиснуті елементи з випадковими або розрахунковими ексцентриситетами, що працюють за першою або за другою формою рівноваги.

У роботі наведено схеми перерізів, розподіл деформацій, епюри напружень, формули для визначення тримкої здатності залізобетонних колон за різних можливих умов прикладання стискувальної сили і відповідних деформацій у перерізах позацентрово стиснутих елементів. Складено алгоритм для розрахунку тримкої здатності залізобетонних колон, що працюють з випадковими ексцентриситетами. Усі вихідні дані отримують в результаті інструментального обстеження існуючих конструкцій, з використанням нормативної літератури. За складеним алгоритмом встановлено несучу здатність залізобетонної колони першого поверху громадської будівлі, запланованої до реконструкції з добудовою третього поверху. Це значення порівнюють з величиною розрахункового стискуючого навантаження згідно проекту реконструкції і роблять висновок про достатність тримкої здатності або про необхідність підсилення колони.

Ключові слова: тримка здатність, неруйнівний контроль, розрахунок, стиск, залізобетонна колона, форма рівноваги

УДК 528.9:004.9

А.В. Уль

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9831-454>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

Ю. А. Мельник*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5186-7032>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

О. В. Мельник

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

О. В. Верешко

к.т.н., доцент, ORCID: : <https://orcid.org/0000-0002-1892-1153>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, 43025

*автор-кореспондент, e-mail: Melnyk.Yuliia@vnu.edu.ua

Геоінформаційний аналіз просторової взаємодії щільності забудови та міської зеленої інфраструктури (UGI) у місті Житомир

Цитувати як:

Уль, А.В., Мельник, Ю.А., Мельник, О. В., Верешко, О. В. (2025). Геоінформаційний аналіз просторової взаємодії щільності забудови та міської зеленої інфраструктури (UGI) у місті Житомир. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 553-563. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-47](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-47)

© 2025, Уль А.В., Мельник Ю.А., Мельник О. В., Верешко О. В.

Анотація. Забезпечення збалансованого співвідношення між інтенсивністю міської забудови та розвитком зеленої інфраструктури (Urban Green Infrastructure, UGI) є ключовою умовою екологічної стійкості міст та базовою вимогою сучасної європейської політики просторового планування. Для українських міст, зокрема Житомира, характерні процеси урбаністичної десифікації, що посилюють просторовий дисбаланс між потребою населення у зелених насадженнях та фактичною можливістю їх використання. У цьому контексті ГІС-методи забезпечують інструментальну основу для кількісної оцінки просторової структури міста та виявлення екологічної та морфологічної вразливості територій.

Метою дослідження є оцінка взаємозв'язку між щільністю забудови, пішохідною доступністю зелених насаджень та рівнем зеленого забезпечення на рівні квартальних одиниць у межах міста Житомир. Методологія ґрунтується на

використанні відкритих геопросторових даних OpenStreetMap, формуванні квартальної моделі міста та обчисленні сукупності просторових індикаторів та буферів нормативної доступності (500 м). Просторовий аналіз виконано у середовищі QGIS із застосуванням операцій просторового приєднання, статистики за зонами та мережевого аналізу.

Результати дослідження показали виражену територіальну асиметрію у забезпеченості зеленими насадженнями. Найбільш урбанізовані квартали центральної частини міста та багатоповерхові житлові масиви характеризуються високими значеннями щільності забудови та найнижчими показниками зеленого балансу, що свідчить про екологічну вразливість цих територій. Буферний аналіз виявив просторову невідповідність між концентрацією населення та доступністю UGI у межах нормативної пішохідної досяжності. Отримані індикатори можуть бути використані для обґрунтувань рішень у сфері міського планування, зокрема для інтеграції в стратегічні документи розвитку та модернізації зеленої інфраструктури.

Ключові слова: міська зелена інфраструктура (UGI), щільність забудови, просторовий аналіз, зелений баланс, GIS, QGIS, квартальна модель, доступність зелених зон.

Вступ

Актуальність досліджень у сфері урбаністики зумовлена глобальними демографічними та просторовими тенденціями, зокрема за прогнозами Організації Об'єднаних Націй, до 2050 року частка міського населення світу сягне 68 %, що визначає потребу переосмислення підходів до планування міських територій з фокусом на стійкість, екологічну рівновагу та соціальну справедливість [1]. Сучасна міська політика виходить за межі традиційного функціонального зонування, сформульованого в Афінській хартії, і акцентує на якості міського середовища, інклюзивності та здоров'ї мешканців [2].

Міжнародні дослідження Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO), UN-Habitat та Європейського агентства з довкілля (EEA) визначають UGI як інтегрований просторовий каркас, що забезпечує зменшення екологічних ризиків, покращення мікроклімату, посилення соціальної взаємодії та підвищення якості життя населення [3–5]. Рівень доступності зелених насаджень та їхній баланс із щільністю забудови розглядаються як ключові показники соціальної справедливості та екологічної стійкості [6].

Українські будівельні норми, зокрема ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій», визначають необхідність розрахунку низки екологічних та містобудівних показників, включно з мінімальними нормативами площі зелених насаджень загального користування, радіусами доступності та аналізом санітарно-гігієнічних умов [7].

Додатковим чинником актуальності є стрімка урбаністична десифікація, характерна для українських міст. Наукові дослідження

демонструють, що процес неконтрольованого ущільнення забудови призводить до втрати відкритих просторів, зниження екологічної безпеки та погіршення доступу населення до зелених насаджень [8]. Однак комплексні GIS-аналізи, що дозволяють інтегрувати інформацію про щільність забудови, доступність зелених зон і рівень озеленення на рівні міських кварталів, у вітчизняній урбаністиці представлені недостатньо.

Раніше нами вже було виконано наукові дослідження, присвячені застосуванню ГІС-методів для аналізу урбанізованих територій, включно з дистанційним моніторингом, інтеграцією просторових індексів та використанням сучасних інформаційних технологій у містобудуванні [11–13], що створює методологічну основу для проведення цього аналізу.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Питання збалансованого розвитку міських територій, зокрема оптимального співвідношення між щільністю забудови та доступністю зелених насаджень, активно розробляються у сучасних європейських та світових урбаністичних дослідженнях. Роботи з міської екології та просторового планування наголошують, що зелена інфраструктура є ключовим чинником кліматичної адаптації міст, зниження теплового стресу та забезпечення соціальної справедливості [3–5]. Згідно з аналітичними оглядами UN-Habitat та Європейського агентства з довкілля (EEA), якість UGI визначає ступінь стійкості міста до урбаністичних ризиків, включаючи надмірне ущільнення забудови [9–10].

Наукові підходи також підкреслюють важливість оцінки просторової рівності доступу до зелених зон. У дослідженнях європейських міст застосовуються інтегральні моделі доступності в межах 300–500 м пішохідної досяжності, що визначають реальну можливість щоденного користування зеленими насадженнями. Паралельно оцінюється диспропорція забезпеченості, коли райони з високою густотою населення або надмірною забудовою демонструють суттєвий дефіцит зелених просторів. Важливою складовою сучасної урбаністики є критика неконтрольованого ущільнення територій. Дослідження демонструють, що за відсутності нормативного контролю цей процес призводить до зменшення площі відкритих просторів, погіршення екологічного балансу та втрати цінних зелених територій. Замість оптимальної щільності, яка є основою концепції компактного міста, формується деструктивна десифікація, що посилює соціальні та екологічні диспропорції.

Для українських міст, включно з Житомиром, ключовим конфліктом є урбаністична десифікація у центральних та сформованих районах. Цей процес, спричинений комерціалізацією та браком контролю, створює загрозу для UGI, оскільки зелені зони розглядаються як резерв для точкової забудови. Міста стикаються з фрагментацією зелених територій, втратою їхньої зв'язності та зростанням навантаження на збережені ділянки.

Житомир є прикладом міста, яке намагається протидіяти цій тенденції через впровадження стратегічних підходів до екологічно орієнтованого планування. Концепція інтегрованого розвитку Житомира INSEK-2030 визначає серед пріоритетів розвиток зеленої інфраструктури, збереження зелених просторів та їх включення у систему стійкого міського середовища.

Для виявлення взаємозв'язків між щільністю забудови, обсягом та розподілом зелених насаджень, а також доступністю UGI, потрібен комплексний ГІС-аналіз. Геоінформаційні системи є ключовою платформою для розрахунку складних містобудівних показників, таких як Коефіцієнт Щільності Забудови (КЩЗ) та Індекс Зеленого Балансу, а також для просторового моделювання. Це дозволяє перейти від описового аналізу до кількісної оцінки просторової вразливості UGI.

Мета і завдання дослідження

Кількісно оцінити просторову вразливість Міської Зеленої Інфраструктури (UGI) міста Житомир шляхом аналізу взаємовідношень між показниками інтенсивності забудови (КЩЗ) та індексами забезпечення зеленими насадженнями, а також обґрунтувати стратегічні пріоритети для ревіталізації.

Попри наявність стратегічних документів, зокрема INSEK-2030, Житомир не має системних досліджень, що інтегрують просторово-квартальний аналіз забудови, зелених насаджень і доступності UGI. Наявні аналітичні матеріали є фрагментованими і не відображають комплексної взаємодії між забудованими та озелениними територіями.

Саме тому у дослідженні поставлено такі завдання:

- Здійснити картографічний аналіз зелених насаджень загального користування та визначити їх фізичну доступність (500 м).
- Розрахувати квартальну щільність забудови на основі площ поверхів забудови.
- Визначити індекс співвідношення зелених насаджень і забудови на рівні кварталів.

Наукова новизна полягає у впровадженні та застосуванні ГІС-моделі, що інтегрує кількісні показники морфології забудови та екологічного балансу для обґрунтування двоканальної стратегії управління UGI у постсоціалістичному місті.

Матеріали та методи

У дослідженні застосовано комплексну методологію просторового аналізу міського середовища, що ґрунтується на принципах геоінформаційної науки (GIScience), морфологічного аналізу міста та концепції міської зеленої інфраструктури. Вихідні просторові дані були сформовані на основі відкритих джерел - насамперед OpenStreetMap, який забезпечує актуальне векторне представлення будівельного фонду,

транспортної мережі та елементів природного каркасу міста. Дані було завантажено через QGIS-плагін QuickOSM, після чого приведено до єдиної метричної системи координат, що забезпечує коректність подальших метричних розрахунків площ, відстаней та коефіцієнтів інтенсивності.

У якості базової морфологічної одиниці обрано міські квартали, сформовані шляхом просторового поділу території за вулично-дорожньою мережею. Така одиниця аналізу відповідає сучасним підходам до морфологічних досліджень міст, оскільки дозволяє інтегрувати структурні та функціональні показники на узгодженому просторовому рівні. [11]

Для оцінки просторової стійкості UGI застосовано три групи індикаторів:

- морфологічні показники забудови: density (площа забудови в межах кварталу); density index (інтенсивність використання території як співвідношення забудови та площі кварталу).

- екологічні показники зеленого покриву: UGI_sum (агрегована площа зелених насаджень у межах кварталу); Green Index (відношення площі зелених насаджень до площі забудови).

- показники доступності UGI (500-метрова пішохідна досяжність).

Усі індикатори були отримані шляхом використання просторового приєднання, статистики за зонами та картографічних операцій у QGIS. Комбінація цих показників дозволила сформувати інтегральну оцінку просторової рівноваги між забудовою та зеленою інфраструктурою [11–13].

Результати та обговорення

Просторовий аналіз UGI демонструє, що зелена інфраструктура Житомира має переважно природно-ландшафтне походження, формуючи безперервний зелений коридор уздовж річки Тетерів та периферійних лісових масивів (рис.1). Цей патерн відповідає структурному типу "природно зорієнтованої UGI", характерному для міст з виразним рельєфом та рекреаційними зонами при річках.

Буферний аналіз пішохідної доступності UGI підтвердило наявність просторової невідповідності між локалізацією населення та доступністю зелених насаджень (рис.2). Кwartали з найвищою щільністю, де потенційна потреба у рекреації є найбільшою, є одночасно територіями з найнижчою доступністю до UGI. Це створює просторову нерівність у забезпеченні природно-рекреаційними ресурсами, що підкреслюється у сучасних дослідженнях справедливості UGI [9–10].

Показники щільності забудови, розраховані на рівні кварталів (рис 3а), виявили виразні структурні контрасти, притаманні пострадянським містам. Високі значення щільності спостерігаються у центральних районах та у зонах багатоквартирної забудови, що підтверджує їхній підвищений морфологічний ризик подальшого ущільнення. Натомість приватний сектор

на околицях відзначається стабільно низькою щільністю, що створює різкі морфологічні розриви між типами середовищ.

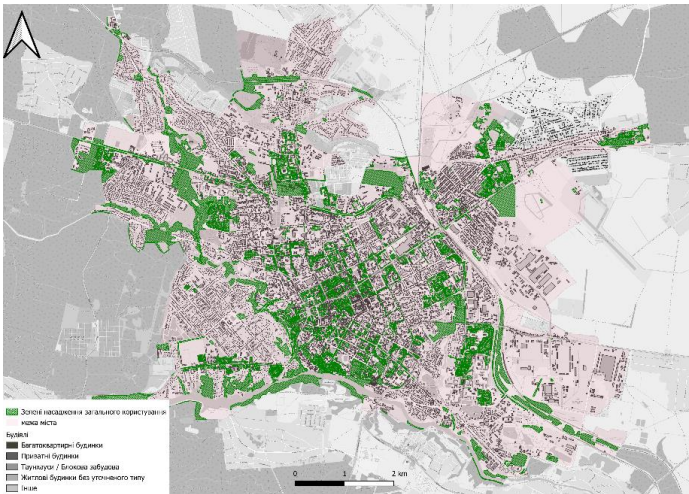


Рис. 1. Просторовий розподіл зелених насаджень в межах міста

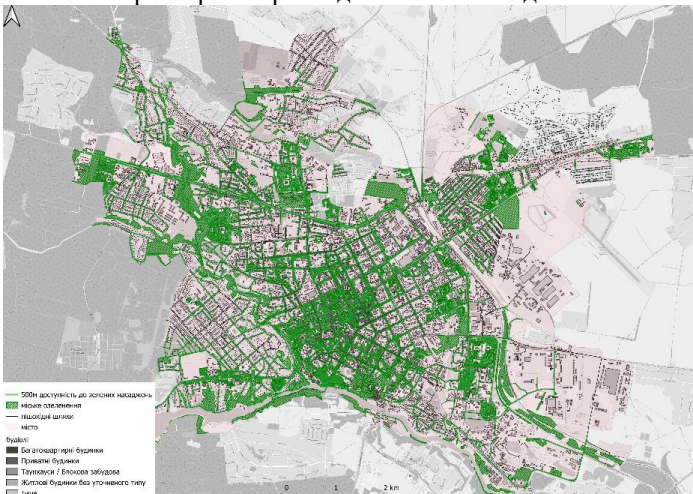


Рис. 2. Доступність зелених насаджень у межах нормативного радіусу.

Індекс щільності забудови (рис 3b), який враховує не лише площу забудови, а й поверховість, дозволив точніше оцінити реальне навантаження на міську територію [8]. Саме цей індикатор показав найвищі значення у сформованих мікрорайонах багатоповерхової забудови, де антропогенний тиск на територію максимальний.

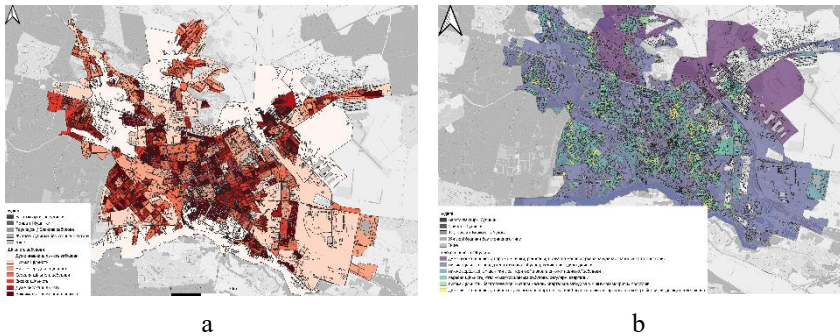


Рис. 3. а Просторова структура щільності забудови у м. Житомир
 б Індекс щільності забудови за кварталами м. Житомир

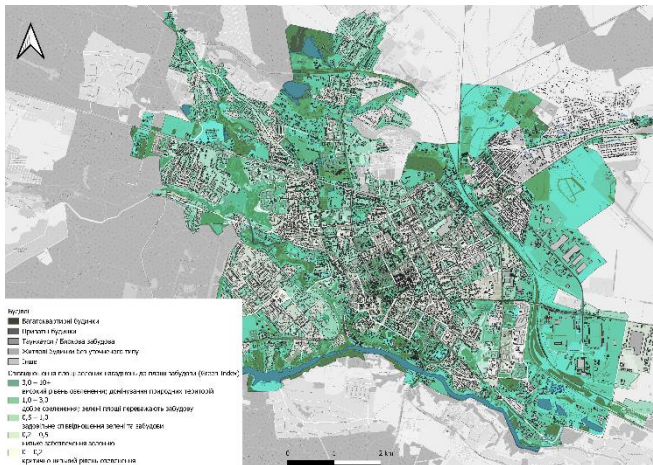


Рис. 4. Індекс зеленого балансу (Green Index) у кварталах м. Житомир

Окрему увагу було приділено аналізу співвідношення площі зелених насаджень до площі забудови (рис 5). Розрахований Green Index виявив системний дисбаланс між озелененням і забудовою: більшість сформованих кварталів має критично низькі значення індексу (0–0.5), що свідчить про перевищення антропогенного навантаження над екологічною компенсаторною здатністю території. Лише райони, суміжні з природним каркасом, демонструють збалансовану структуру "озеленення - будівлі".

Висновки

Отримані результати свідчать, що просторово-функціональна структура Житомира перебуває у стані вираженої просторової асиметрії,

яка проявляється у диспропорції між інтенсивністю забудови та рівнем забезпечення зеленою інфраструктурою. Квартали з високою щільністю забудови, насамперед у центральній частині міста та сформованих житлових масивах демонструють знижену екологічну стійкість, що відображається у низьких значеннях індексу зеленого балансу. Натомість основні елементи UGI залишаються зосередженими переважно уздовж природного каркасу та на периферії, формуючи нерівномірну структуру у межах міста.

Порівняння морфологічних, екологічних та індикаторів доступності виявило просторову невідповідність між локалізацією високого соціального попиту на зелені насадження та фактичною доступністю UGI. Квартали з найвищими показниками щільності населення та забудови водночас є територіями з найнижчим рівнем забезпечення рекреаційними просторами у нормативному радіусі пішої досяжності. Така структурна неузгодженість свідчить про просторову вразливість міського середовища та вказує на дефіцит екологічної інфраструктури в найбільш урбанізованих зонах.

Використана ГІС-методологія продемонструвала високу ефективність для діагностики просторових дисбалансів та виявлення зон, що потребують пріоритетного втручання. Одержані результати формують аналітичну основу для обґрунтованого планування та формування цільових інтервенцій, спрямованих на підсилення UGI у сформованих кварталах, оптимізацію доступності та вирівнювання просторової нерівності. Застосування цього підходу може бути інтегроване у стратегічні документи міського розвитку, включно з оновленням положень INSEK-2030 та проєктуванням локальних зелено-інфраструктурних рішень.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. United Nations. (2019). World Population Prospects 2019: Highlights. New York. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210042352>

2. Congrès Internationaux d'Architecture Moderne. (1933). Athens Charter. Translated by J. Tyrwhitt. Paris: Harvard University. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://portal.uur.cz/pdf/charty-deklarace/charter-of-athens-1933.pdf>
3. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2016). Urban green spaces and health. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://iris.who.int/handle/10665/345751>
4. UN-Habitat. (2020). Optimizing Infrastructure Urban Patterns for a Green Economy. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://unhabitat.org/optimizing-infrastructure-urban-patterns-for-a-green-economy>
5. Estreguil, C., Dige, G., Kleeschulte, S., Carrao, H., & Raynal, J. (2019). Strategic Green Infrastructure and Ecosystem Restoration: geospatial methods, data and tools. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2760/06072>
6. Hansen, R., Pauleit, S. (2014). From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio*, 43(4), 516–529. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>
7. DBN B.2.2-12:2019. Planuvannia ta zabudova terytorii. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2019. 103 s. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/planuvannja_ta_zabudova_teritorij_dbn_b_2_2_12_201_9/4-1-0-1901
8. Davies, C., Laforteza, R. (2017). Urban green infrastructure in Europe: is greenspace planning and policy compliant? *Land Use Policy*, 69, 93–101. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.018>
9. European Environment Agency. (2022). Environmental statement report 2022. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-statement-report-2022>
10. UN-Habitat. (2022). World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. Nairobi. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://unhabitat.org/wcr/2022/>
11. Melnyk Yu.A., Vereshko O.V., Melnyk O.V., Vereshko A.O. (2023). Vykorystannia suchasnykh informatsiynykh tekhnolohii dlia mistobudivnykh potreb. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, № 20, 72–78. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-08)
12. Ul A.V., Melnyk O.V., Melnyk Yu.A., Melniichuk M.M. (2022, sichen). Dystantsiinyi monitorynh urbanizovanykh terytorii. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, № 18, 162–173. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-17](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-17)
13. Ul A.V., Melnyk O.V., Melnyk Yu.A., Vakuliuk L.A., Stepaniuk V.O. (2024). Ohliad spektralnykh indeksiv dlia dystantsiynykh doslidzhen urbanizovanykh terytorii. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, № 21, 253–270. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-27](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-27)

Література

1. United Nations. (2019). World Population Prospects 2019: Highlights. New York. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210042352>
2. Congrès Internationaux d'Architecture Moderne. (1933). Athens Charter. Translated by J. Tyrwhitt. Paris: Harvard University. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://portal.uur.cz/pdf/charty-deklarace/charter-of-athens-1933.pdf>
3. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2016). Urban green spaces and health. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://iris.who.int/handle/10665/345751>

4. UN-Habitat. (2020). Optimizing Infrastructure Urban Patterns for a Green Economy. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://unhabitat.org/optimizing-infrastructure-urban-patterns-for-a-green-economy>
5. Estreguil, C., Dige, G., Kleeschulte, S., Carrao, H., & Raynal, J. (2019). Strategic Green Infrastructure and Ecosystem Restoration: geospatial methods, data and tools. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2760/06072>
6. Hansen, R., Pauleit, S. (2014). From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio*, 43(4), 516–529. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>
7. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 103 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/planuvannya_ta_zabudova_teritorij_dbn_b_2_2_12_2019/4-1-0-1901
8. Davies C., Laforteza R. Urban green infrastructure in Europe: is greenspace planning and policy compliant? // *Land Use Policy*. – 2017. – Vol. 69. – P. 93–101. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.018>
9. European Environment Agency. (2022). Environmental statement report 2022. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/publications/environmental-statement-report-2022>
10. UN-Habitat. (2022). World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. Nairobi. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://unhabitat.org/wcr/2022/>
11. Мельник Ю.А., Верешко О.В., Мельник О.В., Верешко А.О. (2023). Використання сучасних інформаційних технологій для містобудівних потреб. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, № 20, 72–78. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-08)
12. Уль А.В., Мельник О.В., Мельник Ю.А., Мельничук М.М. (2022, січень). Дистанційний моніторинг урбанізованих територій. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, № 18, 162–173. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-17](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-17)
13. Уль А.В., Мельник О.В., Мельник Ю.А., Вакулюк Л.А., Степанюк В.О. (2024). Огляд спектральних індексів для дистанційних досліджень урбанізованих територій. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, № 21, 253–270. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-27](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-27)

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.11.2025	Received in revised form 12.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A.V. Uhl

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5249-0828>
 Department of Geodesy, Land Management and Cadastre
 Lesya Ukrainka Volyn National University, Voli ave., 13, Lutsk, Ukraine, 43025

Yu.A. Melnyk*

Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5186-7032>
 Department of Geodesy, Land Management and Cadastre
 Lesya Ukrainka Volyn National University, Voli ave., 13, Lutsk, Ukraine, 43025

O.V. Melnyk

Ph.D. in Engineering, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>

Department of Geodesy, Land Management and Cadastre

Lesya Ukrainka Volyn National University, Voli ave., 13, Lutsk, Ukraine, 43025

O.V. Vereshko

Ph.D. in Engineering, <https://orcid.org/0000-0002-1892-1153>

Department of building and civil engineering

Lutsk National Technical University, Lvivska 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: Melnyk.Yuliia@vnu.edu.ua

Geoinformation analysis of spatial interaction between building density and urban green infrastructure (UGI) in the city of Zhytomyr

How to Cite:

Ul A.V., Melnyk Yu.A., Melnyk O.V., Vereshko O.V. (2025). Geoinformation analysis of spatial interaction between building density and urban green infrastructure (UGI) in the city of Zhytomyr, *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 553-563. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-47](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-47)

Abstract. Urban Green Infrastructure (UGI) plays a crucial role in enhancing ecological resilience and ensuring spatial equity in contemporary urban planning. In post-socialist cities such as Zhytomyr, ongoing densification processes intensify pressure on existing green systems and contribute to structural imbalances between built-up areas and the availability of ecosystem services. GIS-based approaches provide an effective analytical framework for identifying these disparities and supporting evidence-based decision-making.

This study examines the spatial relationship between building density, green space distribution, and accessibility within the urban fabric of Zhytomyr. Open-source geospatial data from OpenStreetMap were used to construct a detailed block-level model of the city. All datasets were harmonized within a metric projection to enable accurate area calculations. Using QGIS, a set of spatial indicators - density, density index, Green Index, and 500-m network-based accessibility zones - was calculated through spatial joins, zonal statistics, and network analysis.

The results reveal significant territorial asymmetry in the interaction between development intensity and green infrastructure. The historic core and large multi-storey residential districts exhibit the highest density values while simultaneously demonstrating the lowest green balance, indicating limited ecological compensation capacity. In contrast, quarters adjacent to the river valley and peripheral forested areas show substantially higher ecological stability. The accessibility model further indicates that many high-density and densely populated districts do not meet normative walking access standards to public green spaces, highlighting a spatial disparity between the demand for and supply of UGI.

The developed indicators provide an evidence-based foundation for municipal planning and can support strategic interventions aimed at strengthening Zhytomyr's green infrastructure network.

Keywords: Urban Green Infrastructure, spatial analysis, building density, ecological balance, GIS, QGIS, accessibility, urban morphology.

УДК 528.9:004.9

А.В. Уль

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9831-454X>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

О. В. Мельник

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

Ю. А. Мельник*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5186-7032>

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

В.В. Шеремета

магістр спеціальності 193 Геодезія та землеустрій

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект Волі, 13, Луцьк, Україна, 43025

*автор-кореспондент, e-mail: Melnyk.Yuliia@vnu.edu.ua

Геоінформаційні методи визначення географічних центрів адміністративних утворень

Цитувати як:

Уль, А.В., Мельник, О. В., Мельник, Ю.А., Шеремета, В.В. (2025). Геоінформаційні методи визначення географічних центрів адміністративних утворень. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 564- 577. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-48](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-48)

© 2025, Уль А.В., Мельник О. В., Мельник Ю.А., Шеремета В.В.

Визначення географічного центру адміністративних територій є фундаментальною задачею центрографії, що має значне науково-прикладне значення, зокрема для геополітичного планування та картографічного забезпечення. Проте, поняття "центру" не має єдиного аналітичного розв'язку, оскільки результат залежить від обраного алгоритму та концептуального розуміння "центральної". Багато ранніх досліджень не мали високої точності або детального опису методології. Сучасні ГІС-технології дозволяють вирішити цю проблему, але водночас пропонують низку різних математичних підходів.

Метою дослідження є проведення порівняльного аналізу результатів визначення географічних центрів Волинської області та її районів (Володимирського, Камінь-Каширського, Ковельського, Луцького). Дослідження ставить за мету встановити зв'язок між конфігурацією (формою) територій та варіативністю положення розрахованих центрів, а також розробити практичні рекомендації щодо застосування кожного методу.

Дослідження проводилося у середовищі QGIS. В якості вихідних даних використано векторні межі з OpenStreetMap (OSM), отримані через сервіс Geofabrik.

Аналіз виявив значну варіативність у положенні центрів залежно від методу та геометрії району. Було перевірено дві гіпотези. Гіпотеза про те, що райони зі складною формою (Камінь-Каширський, Ковельський), які мають низькі індекси компактності, демонструють максимальну розбіжність центрів, підтвердилася. Натомість, гіпотеза про те, що компактні райони мають стабільні центри, була спростована на прикладі Луцького району.

Розроблено матрицю практичного застосування методів, що пов'язує конкретні методи (напр., полюс недоступності, центр мінімального кола) з прикладними завданнями (напр., розміщення об'єктів утилізації відходів або везз'язку).

Ключові слова: географічний центр, центрографія, геоінформаційні системи (ГІС), QGIS, просторовий аналіз, адміністративні утворення, Волинська область.

Вступ

Поняття географічного центру території має важливе наукове та прикладне значення, слугуючи основою для просторового планування, розміщення інфраструктури, логістичного моделювання, а також виконуючи символічну та адміністративну функції. Однак, на відміну від простих геометричних фігур, для реальних адміністративних утворень зі складною конфігурацією меж не існує єдиного, загальноприйнятого визначення "центру". Різні математичні методи, що базуються на відмінних критеріях "центральності", дають різні результати, і ця розбіжність може сягати десятків кілометрів.

З розвитком геоінформаційних систем (ГІС) розрахунок центрів став технічно простим завданням, проте це лише загостило проблему коректної інтерпретації результатів. Вибір того чи іншого методу без розуміння його геометричної суті та чутливості до форми об'єкта може призвести до помилкових управлінських рішень. Адміністративно-територіальна реформа 2020 року в Україні створила нові райони зі значною морфометричною різноманітністю, що робить порівняльний аналіз їхніх географічних центрів особливо актуальним для потреб регіонального розвитку. Таким чином, дослідження варіативності положення географічних центрів залежно від методу розрахунку та форми території є нагальною науково-практичною задачею.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Центрографія як науковий напрям, що вивчає просторові центри об'єктів, є фундаментальною складовою географічної науки. Визначення географічного центру території (центроїда) має важливе науково-прикладне значення, включаючи картографічне забезпечення, гео економічне та геополітичне планування, а також екскурсійно-туристичну функцію.

Літературний аналіз [1-9] свідчить, що в умовах нової інформаційної епохи та розвитку технічного забезпечення точність визначення основних географічних параметрів має бути значно вищою, ніж у попередніх дослідженнях. Багато ранніх публікацій не містили детальних характеристик використаних картографічних матеріалів, обсягів вимірів або оцінки точності результатів, що ставило під сумнів їхню достовірність. Вирішення цієї проблеми досягається шляхом інтеграції сучасних геоінформаційних систем (ГІС) та високоточних геодезично-картографічних технологій.

Визначення координат центроїда як центра ваги території вимагає застосування аналітичних методів, які найкраще реалізуються в середовищі ГІС, оскільки вони здатні опрацьовувати великі масиви високоточних просторових даних.

Основний аналітичний підхід ґрунтується на визначенні центроїда як центра мас (центра ваги) плоского тіла. В роботі [4] було використано цей підхід для визначення Географічного Центру України (ГЦУ), застосовуючи модель Землі у формі еліпсоїда Красовського. Методологія вимагає переходу від географічних координат до декартових, а потім зведення подвійних інтегралів по території на еліпсоїді до контурних інтегралів уздовж граничної лінії. Обчислення контурних інтегралів, виконане шляхом чисельного інтегрування по елементарних прямолінійних відрізках границі, є прикладом високоточного геодезичного розрахунку, що становить основу для подальших ГІС-реалізацій.

Для забезпечення високої достовірності результатів дослідники вдаються до таких ГІС-сумісних методик:

С. Остапчук та Р. Німкович [9] для визначення географічних сталих Рівненської області використовували картографічні матеріали масштабу 1:10 000 та оцифрували 9708 точок по периметру області.

Для площадної оцінки, наприклад, об'єктів забруднення або центроїда Сумської області [5], застосовується точкова дискретизація, замінюючи площу території регулярною мережею точок (наприклад, близько 1000 точок). У дослідженні Чернівецької області [1] використовувалися координати географічних центрів адміністративних районів для розрахунку загального центру області.

А. О. Корнус [5] визнав імовірісно-статистичний спосіб (з використанням електронної карти) найбільш точним для Сумської області, порівняно з методом середніх координат.

Для виконання точних центрографічних розрахунків і просторового аналізу залучається спеціалізоване програмне забезпечення: Digitals, AutoCad 2008 та Excel використовувалися для оцифрування меж, імпорту даних та коректного обчислення центру мас (центроїда) для Рівненської області [9].

ESRI ArcGIS (зокрема модулі ArcMap та Spatial Analyst) є ключовим інструментом для геоінформаційного моделювання у сфері природокористування, забезпечуючи геокодування, ректифікацію, оверлейний аналіз та топологічну корекцію просторових даних.

MapInfo Professional та MS Excel використовувалися для просторового аналізу розселення та розрахунку центрів заселеності Волинської області [6].

Завдяки застосуванню високоточних геодезичних методів, підтриманих цифровими картами та ГІС-технологіями, були отримані уточнені координати центрів для різних адміністративних одиниць:

В результаті наукових досліджень Географічного Центру України (ГЦУ) [4] як центр ваги території було визначено у точці з координатами 49°01'39" пн. ш. і 31°28'58" сх. д. (с. Мар'янівка, Черкаська область). Це місцезнаходження було затверджене наказом Держкомприроди України від 20 травня 2005 року. Розрахунки базувалися на побудові регулярної сітки трапецій на цифровій топографічній карті масштабу 1:200 000 з кроком 0,1', що забезпечило середню квадратичну помилку положення $\pm 0,24'$, або 407 м.

Встановлено нові, більш достовірні координати географічного центру Рівненської області: 51°02'08,8" пн. ш., 26°23'12,1" сх. д. (у системі WGS-84) [9]. Проведений аналіз підтвердив суттєву розбіжність між новими високоточними даними і застарілими значеннями, що підкреслює необхідність використання сучасних технологій.

Застосування центрографічного методу з використанням ГІС MapInfo Professional та аналітичних формул дозволило визначити географічний центр Волинської області з високою точністю: 51°11'15,35" пн. ш. і 24°52'20,16" сх. д. [6].

При дослідженні Чернівецької області [1] застосовувався комплекс методів (середніх координат, медіанної точки, класичний аналітичний метод та ін.), узагальнені результати яких вказують на розташування центру поблизу с. Остриця Новоселицького району (48°16'30" пн. ш., 26°03'45" сх. д.). Крім того, для кількісної оцінки транспортно-географічного положення адміністративних центрів області використовувалася теорія графів.

Визначення геодезичних координат центроїда є обов'язковою вимогою для площинних об'єктів забруднення, необхідною для державного обліку об'єктів у Міністерстві захисту довкілля. У дослідженні басейнової геосистеми р. Бережниця [7], ГІС (ESRI ArcGIS) використовувалася для створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР) та моделей параметрів рельєфу (крутизна, експозиція), що дозволило розробити оптимальну геоінформаційну модель структури землекористування та визначити потенційно небезпечні в ерозійному сенсі території.

ГІС технічно уможливлює детальний діахронічний просторовий аналіз історії адміністративно-територіального поділу, дозволяючи

розглядати динамічні полігональні об'єкти та розраховувати показники мінливості/стійкості меж (наприклад, коефіцієнт компактності). Цей методологічний апарат є необхідним для комплексного вивчення територіальних систем.

Мета і завдання дослідження. провести порівняльний аналіз результатів визначення географічних центрів Волинської області та її районів за допомогою шести різних геоінформаційних методів, встановити зв'язок між конфігурацією територій та варіативністю положення центрів, а також розробити практичні рекомендації щодо застосування кожного методу.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання дослідження:

1. Розрахувати координати шести типів географічних центрів (центроїд, центр обмежуючого прямокутника, центр мінімального орієнтованого прямокутника, центр мінімального описуючого кола, центр опуклої оболонки, полюс недоступності) для кожної адміністративної одиниці.
2. Провести кількісний аналіз розбіжностей між отриманими центрами шляхом розрахунку матриць відстаней та визначення ключових показників дисперсії.
3. Перевірити гіпотези щодо впливу форми території (компактної та складної) на ступінь розсіювання географічних центрів.

Матеріали та методи

В якості джерела вихідних векторних даних про адміністративні межі було використано глобальну картографічну базу даних OpenStreetMap (OSM). OSM є проектом спільного збору геопросторових даних волонтерами з усього світу за принципом краудсорсингу. Дані з OSM були отримані через сервіс Geofabrik, який надає щоденні вивантаження даних у форматі *.shp.

Критичним для аналізу є те, що географічні системи координат, такі як WGS 84, не призначені для коректного виконання метричних обчислень (вимірювання відстаней, площ, розрахунку центроїдів). Це пов'язано з тим, що довжина одного градуса довготи суттєво змінюється зі зміною широти. Тому для проведення всіх аналітичних операцій у даній роботі вихідні дані були перепроєктовані у відповідну метричну проекційну систему координат — EPSG:5562 - UCS-2000 / Gauss-Kruger zone 4, яка мінімізує спотворення відстаней та площ на території Волинської області.

У багатьох задачах ГІС потрібен «центральный» пункт полігону: це може бути як точка, що представляє геометричну середину, так і точка, яка максимально віддалена від країв — «центр внутрішньої частини». Нижче подано короткий огляд найпоширеніших підходів (табл. 1).

Визначення географічного центру полігонального об'єкта в геоінформаційних системах є задачею, що не має єдиного аналітичного розв'язку, оскільки результат залежить від обраного алгоритму та концептуального розуміння "центральності". Сучасні ГІС-пакети, такі як QGIS, пропонують низку інструментів, що реалізують різні математичні підходи.

Результати та обговорення

Розрахунок географічних центрів для полігональних об'єктів Волинської області та її районів (табл. 2) здійснювався у середовищі QGIS з використанням набору стандартних інструментів векторного аналізу (Рис. 1). Вхідним шаром для всіх операцій слугував підготовлений векторний шар, що містить коректну геометрію в проєкції EPSG:5562 - UCS-2000 / Gauss-Kruger zone 4.

Гіпотеза 1: Для районів з компактною, округлою формою, усі центри будуть розташовані дуже близько один до одного.

Луцький район, маючи найвищий індекс компактності (0.54), несподівано демонструє найбільшу дисперсію центрів, що прямо суперечить початковому припущенню. Максимальна відстань у 26.5 км є рекордною у вибірці. Це свідчить про те, що індекс компактності Полсбі-Поппера [10], хоч і є корисним, не завжди є вичерпним показником.

Гіпотеза 2: Для районів з видовженою або складною формою, розбіжність між центрами буде максимальною.

Ця гіпотеза знаходить своє підтвердження на прикладі Камінь-Каширського та Ковельського районів. Вони мають найнижчі індекси компактності (0.37 та 0.38) і, відповідно, дуже високі показники розбіжності центрів (середня відстань 8.5 км та 7.2 км). Складні конфігурації цих районів є прямим наслідком їхньої фізичної географії та адміністративної історії.

Ковельський район є найбільшим в області (38% її території) і був утворений шляхом об'єднання кількох старих районів, що призвело до формування великої та складної за конфігурацією території, яка включає різноманітні ландшафти, від Шацького національного парку до прикордонних зон.

Для таких територій зі складною морфологією вибір методу визначення центру має критичне значення. Наприклад, умовний вузький виступ на північній межі Камінь-Каширського району майже не вплине на положення Полюса недоступності, але кардинально змістить на північ центр обмежуючого прямокутника.

Таким чином, індекс компактності є корисним, але не абсолютним прогностичним інструментом. Він добре корелює з дисперсією центрів для територій з очевидно нерегулярною формою. Однак, як показує випадок Луцького району, висока компактність зовнішніх кордонів не гарантує збіжності всіх типів центрів, особливо тих, що чутливі до внутрішньої геометрії, як полюс недоступності [11].

Таблиця 1

Огляд найпоширеніших підходів до визначення географічних центрів

№	Метод	Коротке пояснення	Переваги	Недоліки
1	Центр мас (центроїд)	Математичне середнє координат усіх точок полігону. Якщо полігон розбитий на трикутники, центроїдом можна визначити як вагове середнє їхніх центрів за площами.	Легко обчислюється. Унікальний для кожного полігону.	Може лежати поза межами полігону (особливо при «загибах»). Не враховує геометричну форму.
2	Описуючий прямокутник	Найпростіша обмежувальна фігура – прямокутник, вирівняний по осям координат, що охоплює всі вершини полігону.	Оперативне розрахування. Легко зрозуміло і візуально.	Чутливий до «викидів» (маленьких відгалужень). Центр прямокутника не обов'язково лежить у полігоні.
3	Мінімальний орієнтований прямокутник	Прямокутник, який містить полігон і має мінімальну площу серед усіх можливих (не обмежений орієнтацією по осям).	Більш точна «обгортка» ніж Envelope. Центр прямокутника краще розташований у внутрішній частині.	Потрібно виконати пошук оптимальної орієнтації (наприклад, алгоритм Rotating Calipers). Відповідає лише прямокутним обгорткам.
4	Мінімальне описуюче коло	Найменше коло, що охоплює всі вершини полігону (MinEnclosingCircle).	Центр кола – точка, яка мінімізує максимальну відстань до будь-якої точки полігону. Не залежить від орієнтації. Підходить для «площих» об'єктів.	Може бути занадто великим – коло не враховує внутрішню форму полігону. Центр може розташовуватися поза межами полігону, якщо форма дуже асиметрична.
5	Опукла оболонка	Найменший опуклий полігон, що містить усі вершини заданого неповного полігону.	Усуває «внутрішні» вигини та загоки. Центроїд Convex Hull часто використовується як простий наближений центр.	При сильному «згинанні» втрачає інформацію про внутрішню структуру. Центроїд оболонки може бути далеко від реального центру «внутрішньої» частини.
6	Поліус недоступності	Точка, яка максимально віддалена від усіх країв полігону. У географії це часто використовується для знаходження центру «внутрішньої» частини острова або території.	Природно описує «центральність» області. Корисний при плануванні розташування інфраструктури.	Обчислення може бути складним (вимагає алгоритмів типу "pohlman"). В деяких випадках ROI не лежить в реалістично бажаній позиції (наприклад, у полігонах з дуже вузькими протіканнями).

Таблиця 2

Координати центрів мінімально обмежувачих фігур

Волинської області			
№	Тип геометрії	X	Y
1	Описуючий прямокутник.	4769488,300	5674799,501
2	Мінімальний орієнтований прямокутник	4769488,300	5674799,501
3	Мінімальне описуюче коло	4769567,282	5678326,748
4	Опукла оболонка	4772663,973	5679209,882
5	Поліус недоступності	4762801,993	5687839,720
Володимирського району			
1	Описуючий прямокутник.	4741477,448	5637126,460
2	Мінімальний орієнтований прямокутник	4737549,804	5634930,724
3	Мінімальне описуюче коло	4738300,547	5636231,905
4	Опукла оболонка	4740304,029	5635862,981
5	Поліус недоступності	4737935,627	5632688,647
Ковельського району			
1	Описуючий прямокутник.	4744728,718	5702365,310
2	Мінімальний орієнтований прямокутник	4740305,957	5696189,406
3	Мінімальне описуюче коло	4744702,952	5700154,707
4	Опукла оболонка	4744702,952	5700154,707
5	Поліус недоступності	4731068,439	5699425,948
Камінь-Каширського району			
1	Описуючий прямокутник.	4798932.786	5722181.187
2	Мінімальний орієнтований прямокутник	4795852.645	5718846.495
3	Мінімальне описуюче коло	4801644.668	5717699.859
4	Опукла оболонка	4800349.497	5722760.578
5	Поліус недоступності	4787375.593	5731114.272
Луцького району			
1	Описуючий прямокутник.	4744728,718	5702365,310
2	Мінімальний орієнтований прямокутник	4740305,957	5696189,406
3	Мінімальне описуюче коло	4744702,952	5700154,707
4	Опукла оболонка	4744702,952	5700154,707
5	Поліус недоступності	4731068,439	5699425,948

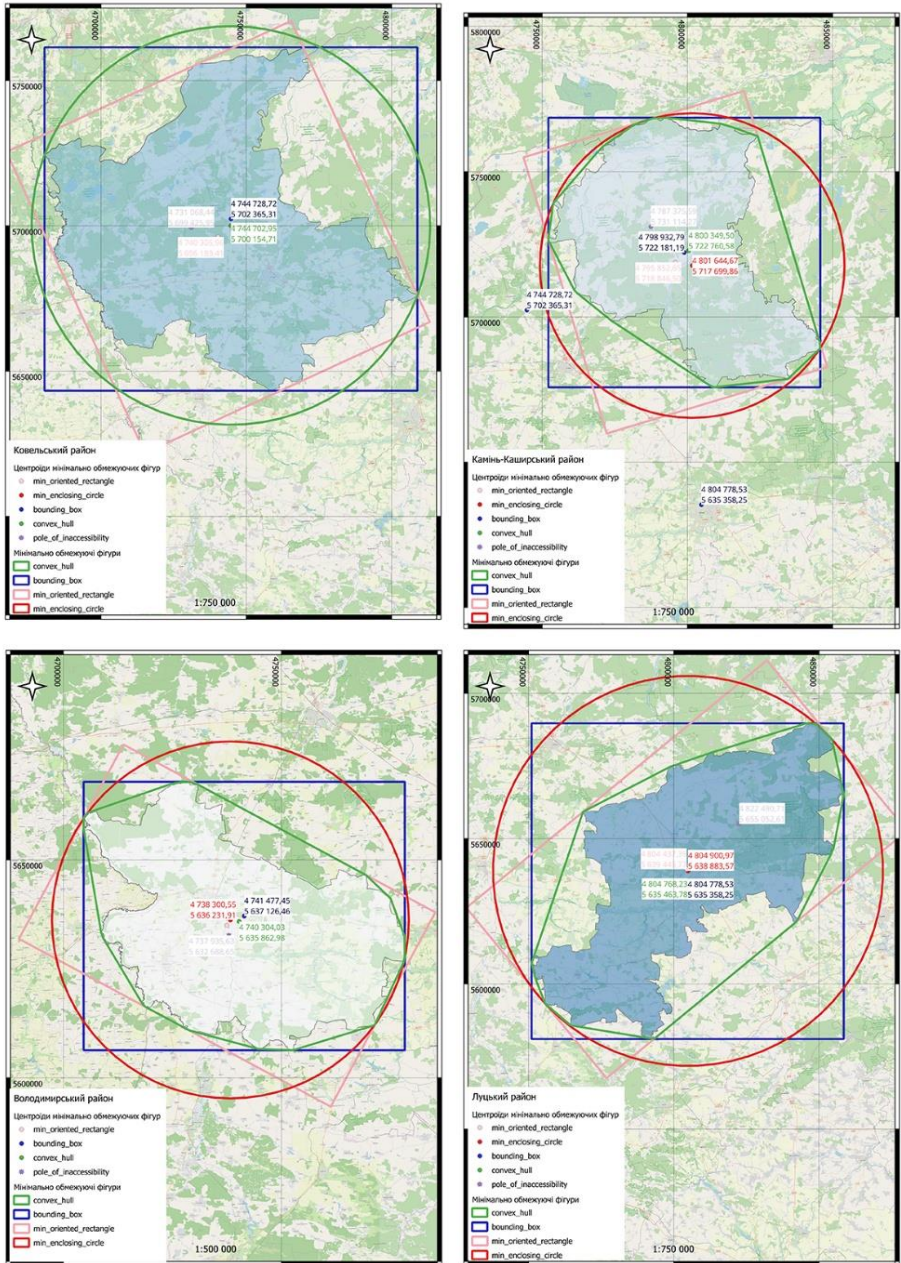


Рис. 1. Визначення географічних центрів районів засобами ГІС

Таблиця 3
 Матриця практичного застосування методів визначення географічного центру

Метод	Геометричний принцип	Сильні сторони	Слабкі сторони / Обмеження	Основні сценарії застосування	Коли слід уникати
Центроїд (Center of Mass)	Точка рівноваги, центр мас фігури.	Стабільний, інтуїтивно зрозумілий, обчислювально ефективний. Добре представляє розподіл площі.	Може розташовуватися за межами увігнутої фігури (напр., С-подібної).	Швидка індексація та маркування об'єктів на карті, загальний аналіз, розрахунок теоретичного центру населення	Розміщення фізичних об'єктів, які обов'язково мають бути всередині території (
Центр мінімального описуючого кола	Точка, що мінімізує максимальну відстань до будь-якої точки на периметрі.	Гарантує оптимальне покриття території з однієї точки.	Ігнорує розподіл площі та населення. Може знаходитися в малозаселеній або важкодоступній частині території.	Планування інфраструктури, орієнтованої на покриття; вежі мобільного зв'язку, радіо- і телевізійні передавачі, розміщення регіональних центрів екстрених служб	Розміщення об'єктів, орієнтованих на обслуговування населення, де важлива близькість до густонаселених районів.
Полюс недоступності (Pole of Inaccessibility)	Точка, максимально віддалена від найближчої межі території.	Гарантовано знаходиться всередині фігури. Забезпечує максимальну ізоляцію від зовнішніх кордонів.	Обчислювально складний. Його положення не пов'язане з розподілом площі чи іншими характеристиками території.	Розміщення об'єктів, що вимагають максимальної безпеки або ізоляції: стратегічні склади, об'єкти для утилізації небезпечних відходів, ядрові зони заповідників тощо	Будь-які завдання, пов'язані з доступністю, логістикою чи обслуговуванням населення.
Центр обмежувачою прямокутника (Bounding Box)	Геометричний центр прямокутника, що окреслений екстремальними координатами.	Надзвичайно швидкий в обчисленні.	Вкрай чутливий до викидів та нерегулярних виступів на межах. Часто нерепрезентативний для складних фігур.	Груба просторова індексація в базах даних, швидка попередня оцінка габаритів та приблизного розташування об'єкта.	Будь-які завдання, що вимагають точності та надійності, особливо для території зі складною формою.

Висновки

Аналіз, проведений у дослідженні, дозволяє перейти від теоретичних висновків до розробки чітких рекомендацій, які допоможуть практикам обирати найбільш доцільний метод визначення центру для вирішення конкретних прикладних завдань (таблиця 3). Вибір методу — це не просто технічне, а й імпліцитне політичне чи стратегічне рішення, оскільки кожен метод втілює різне розуміння "центральності". Замість пошуку єдиного "правильного" центру, найбільш обґрунтованим підходом для комплексного просторового планування є використання мульти-центрового аналізу. Розрахунок та візуалізація кількох центрів дозволяє визначити так звану "зону центральності" або "локус невизначеності".

Для компактних територій (як Володимирський район) ці точки утворюють щільний кластер, що свідчить про високу надійність визначення центру. У такому випадку вибір конкретного методу не є критичним, і розміщення центрального об'єкта буде стійким до методологічних варіацій.

Для територій зі складною конфігурацією (як Камінь-Каширський район) або оманливою компактністю (як Луцький район) ці точки будуть значно розсіяні, чітко окреслюючи зону, в межах якої лежать усі можливі варіанти "центру". Ця зона є візуалізацією невизначеності. Будь-який важливий інфраструктурний об'єкт, що претендує на статус центрального, має розташовуватися в межах цього локусу. Розміщення об'єкта на його краю або поза ним повинно розглядатися з великою обережністю, оскільки його "центральність" є умовною і залежить від обраного визначення.

Випадок Луцького району є ідеальним прикладом важливості такого підходу. Покладаючись лише на індекс компактності, можна було б помилково вважати визначення центру тривіальним завданням. Однак мульти-центровий аналіз виявив величезний "локус невизначеності", сигналізуючи планувальникам про те, що поняття "центру" для цієї території є вкрай неоднозначним. Такий підхід перетворює аналіз з пошуку однієї точки на оцінку просторового поля ймовірностей, надаючи особам, що приймають рішення, набагато повнішу та об'єктивнішу інформацію для стратегічного планування.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. V. O. Dzhaman, M. D. Zaiachuk, O. H. Zaiachuk. Vyznachennia heohrafichnoho tsentru terytorii ta otsinka transportno-heohrafichnoho polozhennia administratyvnykh tsentriv Chernivetskoï oblasti. Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. Heohrafiia. 2010. Vyp. 527. S. 95–100.
2. Havriushyn, O. Teoretychni zasady prostorovoho analizu istorii administratyvno-terytorialnoho podilu. Chasopys sotsialno-ekonomichnoi heohrafiï. 2022. Vyp. 32. S. 14–23.
3. Karpinskiy, Yu. O., Liashchenko, A. A., Dohtiar, A. M. Vyznachennia heohrafichnoho tsentru Ukrainy. Visnyk heodezii ta kartohrafiï. 2002. № 1. S. 29–33.
4. Karpinskiy, Yu. O., Triukhan, M. O., Liashchenko, A. A., Shevchenko, V. O., Baranovskiy, V. D., Hrytsevykh, V. S. Pro rezultaty naukovykh doslidzhen z vyznachennia koordynat heohrafichnoho tsentru terytorii Ukrainy. Visnyk heodezii ta kartohrafiï. 2004. № 2. S. 66–69.
5. Kornus, A. O. Pro heohrafichnyi tsentr Sumskoï oblasti. Naukovi zapysky Sumskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni A. S. Makarenka. Heohrafichni nauky. Sumy: Vinnichenko M. D., 2011. Vyp. 2. S. 69–74.
6. Lazhnik, V., Puhach, S. Prostoroviý analiz osoblyvostey rozselennia naselennia Volynskoï oblasti z vykorystanniam tsentroheohrafichnoho metodu. Chasopys sotsialno-ekonomichnoi heohrafiï. 2017. № 22(1). S. 111–117.
7. Mykytchyn, O., Pasichnyk, M. Optymizatsiia struktury zemlekorystuvannia baseynovoï heosystemy r.Berezhnysia vidpovidno do orohrafichnykh umov (z vykorystanniam HIS). Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. 2018. Vyp. 803: Heohrafiia. S. 120–125.
8. Ostapchuk, S. Heohrafichni tsentry Yevropy yak tematychni turystychni lokatsii. Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. 2018. Vyp. 803: Heohrafiia. S. 52–57.
9. Ostapchuk, S. M., Nimkovych, R. S. Vyznachennia heohrafichnoho tsentru terytorii (na prykladi Rivnenskoï oblasti ta yii administratyvnykh raioniv). Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky. 2017. Vyp. 4(80). S. 178–185.
10. Polsby, Daniel D. and Popper, Robert, The Third Criterion: Compactness as a Procedural Safeguard Against Partisan Gerrymandering. Yale Law & Policy Review, Vol. 9, No. 2, 1991, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2936284>
11. New York City Geographic Center, Pole of Inaccessibility, and Center of Minimum Enclosing Circle. Reddit. URL: https://www.reddit.com/r/geography/comments/zwixeg/new_york_city_geographic_center_pole_of/ (дата звернення: 16.10.2025).

Література

1. В. О. Джаман, М. Д. Заячук, О. Г. Заячук. Визначення географічного центру території та оцінка транспортно-географічного положення адміністративних

центрів Чернівецької області. Науковий вісник Чернівецького університету. Географія. 2010. Вип. 527. С. 95–100.

2. Гаврюшин, О. Теоретичні засади просторового аналізу історії адміністративно-територіального поділу. Часопис соціально-економічної географії. 2022. Вип. 32. С. 14–23.

3. Карпінський, Ю. О., Лященко, А. А., Дьогтяр, А. М. Визначення географічного центру України. Вісник геодезії та картографії. 2002. № 1. С. 29–33.

4. Карпінський, Ю. О., Трюхан, М. О., Лященко, А. А., Шевченко, В. О., Барановський, В. Д., Грицевич, В. С. Про результати наукових досліджень з визначення координат географічного центру території України. Вісник геодезії та картографії. 2004. № 2. С. 66–69.

5. Корнус, А. О. Про географічний центр Сумської області. Наукові записки Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка. Географічні науки. Суми: Вінніченко М. Д., 2011. Вип. 2. С. 69–74.

6. Лажнік, В., Пугач, С. Просторовий аналіз особливостей розселення населення Волинської області з використанням центрографічного методу. Часопис соціально-економічної географії. 2017. № 22(1). С. 111–117.

7. Микитчин, О., Пасічник, М. Оптимізація структури землекористування басейнової геосистеми р.Бережниця відповідно до орографічних умов (з використанням ГІС). Науковий вісник Чернівецького університету. 2018. Вип. 803: Географія. С. 120–125.

8. Остапчук, С. Географічні центри Європи як тематичні туристичні локації. Науковий вісник Чернівецького університету. 2018. Вип. 803: Географія. С. 52–57.

9. Остапчук, С. М., Німкович, Р. С. Визначення географічного центру території (на прикладі Рівненської області та її адміністративних районів). Вісник НУВГП. Технічні науки. 2017. Вип. 4(80). С. 178–185.

10. Polsby, Daniel D. and Popper, Robert, The Third Criterion: Compactness as a Procedural Safeguard Against Partisan Gerrymandering. Yale Law & Policy Review, Vol. 9, No. 2, 1991, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2936284>

11. New York City Geographic Center, Pole of Inaccessibility, and Center of Minimum Enclosing Circle. Reddit. URL: https://www.reddit.com/r/geography/comments/zwiehg/new_york_city_geographic_center_pole_of/ (дата звернення: 16.10.2025).

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.11.2025	Received 10.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 12.11.2025	Received in revised form 12.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A.V. Uhl

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5249-0828>
Department of Geodesy, Land Management and Cadastre
Lesya Ukrainka Volyn National University, Voli ave., 13, Lutsk, Ukraine, 43025

O.V. Melnyk

Ph.D. in Engineering, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>
Department of Geodesy, Land Management and Cadastre
Lesya Ukrainka Volyn National University, Voli ave., 13, Lutsk, Ukraine, 43025

Yu.A. Melnyk*

Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5186-7032>

Department of Geodesy, Land Management and Cadastre

Lesya Ukrainka Volyn National University, Voli ave., 13, Lutsk, Ukraine, 43025

V.V. Sheremeta

Master's degree in Geodesy and Land Management (specialty 193)

Department of Geodesy, Land Management and Cadastre

Lesya Ukrainka Volyn National University, Voli ave., 13, Lutsk, Ukraine, 43025

*corresponding author, e-mail: Melnyk.Yuliia@vnu.edu.ua

Geoinformation methods for determining the geographical centers of administrative entities

How to Cite:

Ul A.V., Melnyk O.V., Melnyk Yu.A., Sheremeta V.V. (2025). Geoinformation methods for determining the geographical centers of administrative entities. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 564-577. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-48](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-48)

Abstract. Determining the geographical center of administrative territories is a fundamental task of centrolology, which has significant scientific and practical importance, particularly for geopolitical planning and cartographic support. However, the concept of "center" does not have a single analytical solution, since the result depends on the chosen algorithm and conceptual understanding of "centrality." Many early studies lacked high accuracy or detailed description of the methodology. Modern GIS technologies allow this problem to be solved, but at the same time offer a number of different mathematical approaches.

The purpose of the study is to conduct a comparative analysis of the results of determining the geographical centers of the Volyn region and its districts (Volodymyr, Kamin-Kashytsky, Kovel, Lutsk). The study aims to establish a connection between the configuration (shape) of territories and the variability of the calculated centers' locations, as well as to develop practical recommendations for the application of each method.

The study was conducted in the QGIS environment. Vector boundaries from OpenStreetMap (OSM), obtained through the Geofabrik service, were used as source data.

The analysis revealed significant variability in the position of the centers depending on the method and geometry of the district. Two hypotheses were tested. The hypothesis that areas with complex shapes (Kamin-Kashytsky, Kovel) with low compactness indices show the greatest divergence of centers was confirmed. However, the hypothesis that compact areas have stable centers was refuted by the example of the Lutsk area.

A matrix of practical application of methods has been developed, linking specific methods (e.g., pole of inaccessibility, center of minimum circle) with applied tasks (e.g., placement of waste disposal facilities or communication towers).

Keywords: geographic center, centroid, geographic information systems (GIS), QGIS, spatial analysis, administrative entities, Volyn region.

УДК 624.012.35

С. В. Філіпчук*

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4464-4620>

Кафедра промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33028

О. Л. Собіщанський

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2800-7927>

Кафедра промислового, цивільного будівництва ім. Є.М. Бабича

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, Україна, 33028

*автор-кореспондент, e-mail: s.v.filipchuk@nuwm.edu.ua

Напружено-деформований стан двошарнірних залізобетонних рам при повторних навантаженнях

Цитувати як:

Філіпчук, С. В., Собіщанський, О. Л. (2025). Напружено-деформований стан двошарнірних залізобетонних рам при повторних навантаженнях. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 578-587. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-49](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-49)

© 2025, Філіпчук С. В., Собіщанський О. Л.

У статті наведено результати дослідження двошарнірних залізобетонних рам з штучним регулюванням зусиль при повторних навантаженнях. Представлено результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану П-подібних монолітних залізобетонних рам із затяжкою (штучним регулюванням зусиль) за умов малоциклового навантаження. Актуальність роботи зумовлена тим, що традиційні методи розрахунку статично невизначених залізобетонних конструкцій недостатньо враховують зміну фізико-механічних властивостей матеріалів, розвиток тріщиноутворення та перерозподіл внутрішніх зусиль під дією повторних навантажень. Для дослідження були виготовлені зразки рам у яких створювалося попереднє напруження в затяжці. Випробування виконували за схемою двошарнірної системи і піддавалися десятикратному повторному навантаженню до рівня $0,75 F_u$, після чого зразки рам довантажувалися до руйнування.

Отримані результати показують суттєвий вплив малоциклових навантажень на розвиток деформацій бетону й арматури, прогини та параметри тріщиноутворення. Встановлено, що основна частина залишкових деформацій формується у перших п'яти циклах навантаження, після чого відбувається стабілізація напружено-деформованого стану. Проаналізовано утворення пластичних шарнірів у прольоті та вузлах рам, визначено граничні деформації, що передують руйнуванню. Порівняння двох типів рам засвідчило ефективність системи штучного регулювання зусиль: прогин ригеля двох шарнірної залізобетонної рами з штучним регулюванням зусиль на 16,1 % менший ніж в двох

шарнірній залізобетонній рамі без штучного регулювання зусиль при одноразовому навантаженні, і на 11,2 % при повторних навантаженнях.

Отримані дані підтверджують перспективність застосування рам із затяжкою та необхідність урахування повторних навантажень у розрахункових моделях для підвищення точності прогнозування їх роботи в умовах експлуатації.

Ключові слова: Залізобетонна рама, напружено-деформований стан, штучне регулювання зусиль, повторні навантаження, бетон, арматура.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. У сучасній будівельній практиці під час проєктування та зведення будівель і споруд широкого призначення активно застосовуються монолітні залізобетонні рами різних типів. Вони забезпечують надійність і довговічність експлуатації споруд навіть у складних кліматичних умовах. Крім того, технологія виготовлення таких конструкцій добре адаптована до сучасних методів індустріального будівництва, що сприяє скороченню термінів виконання робіт і зниженню собівартості.

Разом із тим, існуючі методики розрахунку статично невизначених залізобетонних конструкцій не повною мірою враховують зміну фізико-механічних характеристик матеріалів у процесі експлуатації, розвиток тріщиноутворення, деформаційні процеси та еволюцію напружено-деформованого стану елементів рам. Недостатньо враховуються також особливості перерозподілу внутрішніх зусиль, що відбуваються під впливом повторних навантажень [1, 2].

Таким чином, актуальність використання залізобетонних рам із затяжкою визначається їх високими техніко-економічними показниками, архітектурною універсальністю та відповідністю сучасним нормативним вимогам. Подальше вдосконалення методів розрахунку і технологій виготовлення таких систем сприятиме підвищенню ефективності будівництва та розвитку інноваційних конструктивних рішень у галузі цивільної інженерії.

Конструкція дослідних рам. Для дослідження П-подібних залізобетонних рам зі штучним регулюванням зусиль були виготовлені залізобетонні зразки рам, які мали розміри в осях: проліт $l = 2000$ мм, висота $h = 1100$ мм, поперечний переріз ригеля рами – 160×100 мм, поперечний переріз стійки рами 180×100 мм (рис.1).

Стойки рами армовано просторовим каркасом з симетрично розташованими чотирма стержнями Ø14A400C. Ригель рами армовано просторовим каркасом: нижня арматура – 2 Ø14A400C, верхня арматура – Ø18A500C (заокруглений і заведений в стійку за нижню грань ригеля на 450 мм). Поперечна арматура в стійках і ригелі виконана у вигляді замкнених зварених рамок із стержнів Ø6Bp-I, встановлених в ригелі з кроком 60, а в стійці 70 та 50 мм в приопорній зоні. На торцях стійок

влаштовані закладні деталі із пластин $t = 5$ мм. Затяжка рами виконана з стержневої арматури $\varnothing 18$ A400, на одному з кінців затяжки було влаштовано різьбу $\varnothing 18$. Попереднє напруження в затяжці створювалося за допомогою динамометричного ключа.

При випробуванні призм міцність бетону в віці 28 діб складала: $f_c = 20,31$ МПа, граничні деформації $\varepsilon_{cl} = 143,17 \times 10^{-5}$, початковий модуль пружності $E_c = 24,95 \times 10^3$ МПа. За результатами випробувань арматурних зразків діаметром 10 мм встановлені наступні характеристики: межа міцності $\sigma_u = 638$ МПа; межа текучості $\sigma_y = 509,6$ МПа; модуль пружності $E_s = 2,0 \times 10^5$ МПа; максимальні відносні деформації, які відповідають напруженням σ_y складають $\varepsilon_{s0} = 244,9 \times 10^{-5}$.

Випробовування рам виконували за схемою двошарнірної системи в спеціальній установці, завантажуючи ригель двома зосередженими силами на віддалі 75 см від осі стійок. Зусилля створювали гідравлічним домкратом, а силу вимірювали тарованим кільцевим динамометром (рис.2). Рами Р1-П та Р1-ПР піддавалися десятикратному повторному навантаженню до рівня $F_{суч} \approx 0,75 F_u$, а на одинадцятому циклі вони довантажувалися до руйнування.

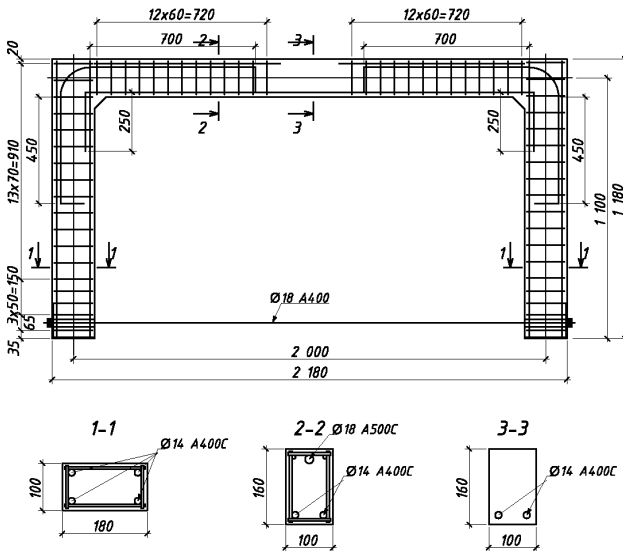


Рис.1. Конструктивна схема дослідних рам

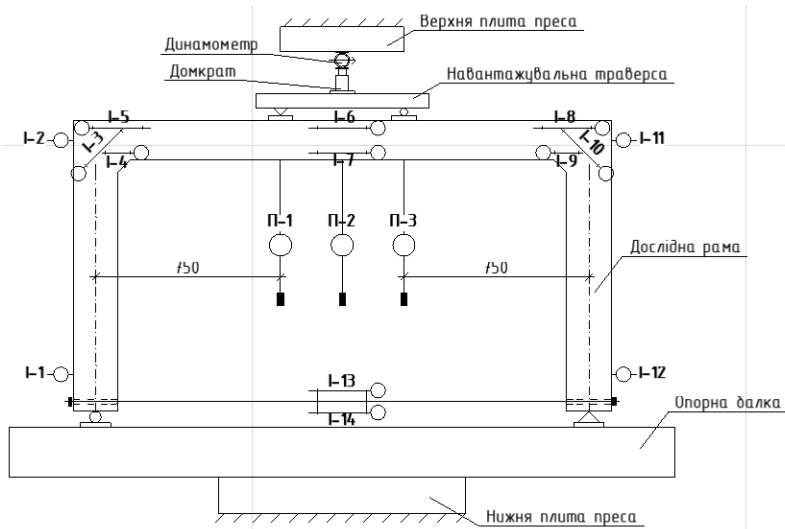


Рис.2. Схема випробування рам та розташування приладів
 (І – індикатори, П – прогиноміри)

Результати досліджень

Докладніше проаналізуємо роботу рами Р1-П. Повторні навантаження рам виявили особливості зміни напружено-деформованого стану перерізів їх елементів. На першому циклі повторних навантажень, при $F = 10$ кН, ширина розкриття тріщин становила: $w = 0,08$ мм – у вузлі рами, та $w = 0,04$ мм – у прольоті ригеля рами. При збільшенні навантаження на першому циклі до рівня $F = 22,5$ кН ширина розкриття тріщин зростає в прольоті ригеля рами – до $w = 0,18$ мм, а у вузлі рами – до $w = 0,28$ мм.

Вже на першому циклі практично відбувся перерозподіл зусиль, а на наступних циклах рама працювала більш пружно. При повторних навантаженнях спостерігалось збільшення деформацій бетону і арматури до п'ятого циклу, після чого це збільшення припинялося. При $F = 22,5$ кН на першому циклі в середньому прольотному перерізі ригеля деформації стиснутого бетону і розтягнутої арматури досягли таких значень $\epsilon_{c,sp,cyc} = 81,06 \times 10^{-5}$ і $\epsilon_{s,sp,cyc} = 227,44 \times 10^{-5}$. Після розвантаження залишкові деформації в бетоні і арматурі склали відповідно $\epsilon_{b,sp,res} = 22,58 \times 10^{-5}$ і $\epsilon_{s,sp,res} = 73,06 \times 10^{-5}$. При цьому відповідні деформації у вузлових перерізах склали $\epsilon_{c,sup,cyc} = 36,13 \times 10^{-5}$ і $\epsilon_{s,sup,cyc} = 84,42 \times 10^{-5}$. Більші залишкові деформації в арматурі пояснюються утворенням залишкової ширини розкриття тріщин.

Після другого циклу навантаження приріст залишкових деформацій значно зменшився, цей приріст не перевищував $\Delta\epsilon_{s,sp,res} = 2,61 \times 10^{-5}$ і $\Delta\epsilon_{c,sp,res} = 2,35 \times 10^{-5}$, а після п'ятого циклу практично припинився ($\Delta\epsilon_{s,sp,res} =$

$=1,3 \times 10^{-5}$ і $\Delta \varepsilon_{p,sp,res} = 0,81 \times 10^{-5}$), тобто відбулася стабілізація напружено-деформованого стану поперечного перерізу в прольоті ригеля. Аналогічно змінювались деформації бетону і арматури у вузлових нормальних перерізах ригеля по внутрішнім граням стійок. Так, максимальні значення приросту деформацій до п'ятого циклу складали $\Delta \varepsilon_{s,sup,res} = 2,94 \times 10^{-5}$ і $\Delta \varepsilon_{c,sup,res} = 1,02 \times 10^{-5}$ а після стабілізації відповідно $\Delta \varepsilon_{s,sup,res} = 1,43 \times 10^{-5}$ і $\Delta \varepsilon_{p,sup,res} = 0,95 \times 10^{-5}$.

Залишкові деформації збільшувалися зі збільшенням кількості циклів, і після шостого циклу вони практично досягли своїх максимальних значень, тобто відбулася їхня стабілізація. Протягом десяти циклів навантаження залишкові деформації в бетоні досягли $\varepsilon_{c,cyc,res} = 30,31 \times 10^{-5}$, але основна кількість залишкових деформацій проявилася на перших п'яти циклах. Так після першого циклу навантаження залишкові деформації склали 74,5% від максимальних після десятого циклу, а після п'ятого – 90%. Треба зазначити, що характер діаграми деформування бетону крайнього стиснутого волокна в прольоті ригеля такий же, як і характер деформування призми при центральному стисненні [4 - 6].

В розтягнутій арматурі прольоту ригеля залишкові деформації також проявилися на перших п'яти циклах. Так, після першого циклу вони склали 80,1% від максимальних після десятого циклу ($\varepsilon_{s,cyc,res} = 91,15 \times 10^{-5}$), а після п'ятого - 97,4%.

Треба зазначити, що на циклах навантаження поряд зі збільшенням залишкових деформацій в стиснутому бетоні спостерігалось і збільшення короточасних його деформацій, що виникали під час безпосереднього навантаження. Так, при $F_{cyc} = 22,5$ кН такі деформації на другому циклі в прольоті ригеля склали $\varepsilon_{c,el} = 84,63 \times 10^{-5}$, а на десятому – $\varepsilon_{c,el} = 93,70 \times 10^{-5}$, що свідчить про певне зменшення модуля пружнопластичності бетону.

На шостому – десятому циклах зміна деформацій в розтягнутій арматурі практично лінійно залежали від величини навантаження, що можна також пояснити стабілізацією процесів тріщиноутворення. З графіку на рис. 3 (перелом кривої 1) можна заключити, що перші тріщини в розтягнутій зоні ригеля виникли при $F = 10$ кН, а в подальшому відбувався їх незначний розвиток (залишкові деформації в арматурі від другого до десятого циклу зросли на $15,97 \times 10^{-5}$, або на 17,5% від максимальних повних деформацій на десятому циклі).

Дещо інший характер мали криві деформування бетону стиснутої зони. Після стабілізації його деформацій на п'ятому – шостому циклах навантаження, криві їхньої залежності і при навантаженні і при розвантаженні були обернені до осі деформацій (рис. 3). Це пояснюється розвитком процесу тріщиноутворення та розвитком пластичних деформацій в бетоні.

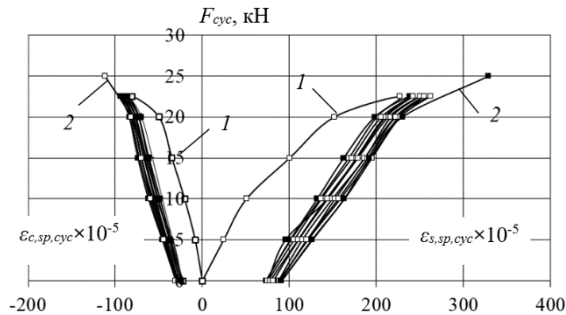


Рис. 3. Зміна деформацій розтягнутої арматури та стиснутого бетону в прольоті ригеля рами P1-II при повторних навантаженнях: 1 – на першому циклі; 2 – на одинадцятому циклі навантаження до руйнування

На одинадцятому циклі рама P1-II була довантажена до руйнування (криві 2 на рис. 3). Перевищення навантаження $F = 22,5$ кН спричинило виникнення нових пластичних деформацій в бетоні та розвиток тріщин. Залежність між деформаціями бетону та арматури від навантаження почала набувати криволінійного характеру. При навантаженні $F = 22,5$ кН пластичні шарніри виникли у вузлах ($\varepsilon_{s,sup} = 262,5 \times 10^{-5}$; $\varepsilon_{s,sup} = 288,8 \times 10^{-5}$; $\varepsilon_{c,sup} = 158,0 \times 10^{-5}$). При $F = 25$ кН деформації арматури в прольоті ригеля досягли граничних значень ($\varepsilon_{s,sp} = 268,53 \times 10^{-5}$), що свідчить про утворення в прольоті пластичного шарніру. внаслідок чого при $F_u = 25,75$ кН рама зруйнувалася. Прогин ригеля рами, перед руйнуванням, становив 17,21 мм, а ширина розкриття тріщин: у вузлі – 0,6 мм, а в прольоті – 0,28 мм.

Рама P1-IP піддавалася короткочасним повторним малоцикловим навантаженням. Попередньо, так само як і в рамі P1-KP, в затязці рами P1-IP задавалося зусилля в 3 кН. На першому циклі дії навантаження перші тріщини з'явилися при $F_{cyc} = 7,5$ кН у вузлах рами. При $F_{cyc} = 22,5$ кН ширина нормальних тріщин в прольоті складала 0,1 мм, а у вузлах 0,16 мм, та 0,14 мм.

Вже на першому циклі практично відбувся перерозподіл зусиль, а на наступних циклах рама працювала більш пружно. При повторних навантаженнях спостерігалось збільшення деформацій бетону і арматури до п'ятого циклу, після чого це збільшення припинялося (рис.4). При $F = 22,5$ кН на першому циклі в середньому прольотному перерізі ригеля деформації стиснутого бетону і розтягнутої арматури досягли таких значень $\varepsilon_{c,sp,cyc} = 61,25 \times 10^{-5}$ і $\varepsilon_{s,sp,cyc} = 194,38 \times 10^{-5}$ (рис.4). Після розвантаження залишкові деформації в бетоні і арматурі склали відповідно $\varepsilon_{c,sp,res} = 14,12 \times 10^{-5}$ і $\varepsilon_{s,sp,res} = 33,47 \times 10^{-5}$. При цьому відповідні деформації у вузлових перерізах склали $\varepsilon_{c,sup,cyc} = 116,51 \times 10^{-5}$ і $\varepsilon_{s,sup,cyc} = 172,01 \times 10^{-5}$. А залишкові деформації становили $\varepsilon_{c,sp,res} = 26,70 \times 10^{-5}$ і $\varepsilon_{s,sp,res} = 78,21 \times 10^{-5}$. Більші залишкові

деформації в арматурі пояснюються утворенням залишкової ширини розкриття тріщин.

Після другого циклу навантаження приріст залишкових деформацій в прольоті значно зменшився, цей приріст не перевищував $\Delta\epsilon_{s,sp,res} = 1,17 \times 10^{-5}$ і $\Delta\epsilon_{c,sp,res} = 1,09 \times 10^{-5}$, а після п'ятого циклу практично припинився ($\Delta\epsilon_{s,sp,res} = 0,52 \times 10^{-5}$ і $\Delta\epsilon_{c,sp,res} = 0,5 \times 10^{-5}$), тобто відбулася стабілізація напружено-деформованого стану поперечного перерізу в прольоті ригеля. Аналогічно змінювались деформації бетону і арматури у вузлових нормальних перерізах ригеля по внутрішнім граням стійок. Так, максимальні значення приросту деформацій до п'ятого циклу складали $\Delta\epsilon_{s,sup,res} = 9,38 \times 10^{-5}$ і $\Delta\epsilon_{p,sup,res} = 5,68 \times 10^{-5}$ а після стабілізації відповідно $\Delta\epsilon_{s,sup,res} = 1,00 \times 10^{-5}$ і $\Delta\epsilon_{p,sup,res} = 0,6 \times 10^{-5}$.

Залишкові деформації збільшувались зі збільшенням кількості циклів, і після шостого циклу вони практично досягли своїх максимальних значень, тобто відбулася їхня стабілізація. Протягом десяти циклів навантаження залишкові деформації в ригелі досягли $\epsilon_{c,cyc,res} = 19,8 \times 10^{-5}$, але основна кількість залишкових деформацій проявилася на перших п'яти циклах. Так після першого циклу навантаження залишкові деформації склали 71,3% від максимальних після десятого циклу, а після п'ятого – 88,9%. Схожа ситуація і у вузлі рами: залишкові деформації у вузлі рами $\epsilon_{c,cyc,res} = 40,57 \times 10^{-5}$, після першого циклу навантаження залишкові деформації склали 65,8% від максимальних після десятого циклу, а після п'ятого – 94,6%.

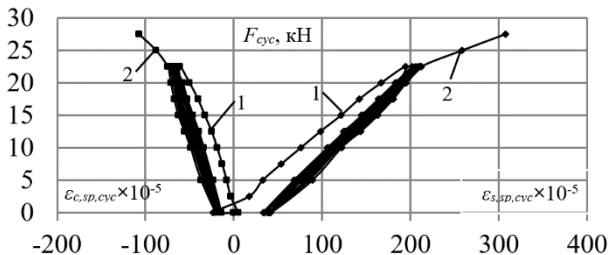


Рис. 4. Зміна деформацій розтягнутої арматури та стиснутого бетону в прольоті ригеля рами Р1-ПР при повторних навантаженнях: 1 – на першому циклі; 2 – на одинадцятому циклі навантаження до руйнування

На одинадцятому циклі рама Р1-ПР була довантажена до руйнування. Перевищення навантаження $F = 22,5$ кН спричинило виникнення нових пластичних деформацій в бетоні та розвиток тріщин. Залежність між деформаціями бетону та арматури від навантаження почала набувати криволінійного характеру. При навантаженні $F = 25,0$ кН пластичні шарніри виникли у вузлі та ригелі рами ($\epsilon_{s,sup} = 269,29 \times 10^{-5}$; $\epsilon_{s,sup} = 258,19 \times 10^{-5}$; $\epsilon_{c,sup} = 169,36 \times 10^{-5}$). При збільшенні навантаження утворився третій пластичний

шарнір, внаслідок чого при $F_u = 29,8$ кН рама зруйнувалася. Прогин ригеля рами з штучним регулюванням зусиль, перед руйнуванням, становив 15,28 мм, а ширина розкриття тріщин: у вузлі – 0,48 мм, а в прольоті – 0,24 мм.

Висновки

Малоциклові навантаження суттєво впливають на напружено регулюванням зусиль. Внаслідок їхньої дії збільшуються повні і залишкові деформації бетону і арматури, прогини та ширина розкриття тріщин в елементах рам. -деформований стан П-подібних залізобетонних рам з штучним

Повні деформації в бетоні і арматурі стабілізуються до шостого циклу навантаження.

Прогин ригеля двох шарнірної залізобетонної рами з штучним регулюванням зусиль на 16,1 % менший ніж в двох шарнірній залізобетонній рамі без штучного регулювання зусиль при одноразовому навантаженні, і на 11,2 % при повторних навантаженнях.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. DBN V.2.6–98:2009. Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. - K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2011. - 71 p.
2. EN 1992. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. Brussels, 2002. 230 p.
3. Filipchuk S.V., Sobishchanskyi O.L., Kovalchuk Y.T. Methodology for testing double-hinged reinforced concrete frames with artificial regulation of forces. Resource-saving materials, constructions, buildings and structures: coll. of science works Rivne: NUVHP, 2025. Issue 47. P. 425 – 430. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i47.51>

4. Filipchuk S. V. Operation of closed reinforced concrete frames under repeated low-cycle loads: Diss. Faculty of Sciences Poltava, 2009. 287 p.
5. Babich E. M. The effect of long-term and short-cycle loads on the mechanical properties of concrete and the operation of reinforced concrete elements: dissertation. ... Dr. technical Sciences: 05.23.01 / E. M. Babich. - Rivne, 1995. - 392 p.
6. Kyslyuk D.Y., Savenko V.I., Uzhehova O.A., Samchuk V.P., Ninichuk M.V. Features of the work of reinforced concrete arches with adjustment of effort under repeated loads // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific – Technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2024. – Issue 113(2024). – P. 195 – 204.

Література

1. ДБН В.2.6–98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
2. EN 1992. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. Brussels, 2002. 230 p.
3. Filipchuk S.V., Sobishchanskyi O.L., Kovalchuk Y.T. Methodology for testing double-hinged reinforced concrete frames with artificial regulation of forces. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2025. Вип. 47. С. 425 – 430. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i47.51>
4. Філіпчук С. В. Робота замкнутих залізобетонних рам при повторних малоциклових навантаженнях: дис. к-та наук. Полтава, 2009. 287 с.
5. Бабич Є. М. Вплив тривалих і малоциклових навантажень на механічні властивості бетонів та роботу залізобетонних елементів: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01 / Є. М. Бабич. – Рівне, 1995. – 392 с.
6. Kyslyuk D.Y., Savenko V.I., Uzhehova O.A., Samchuk V.P., Ninichuk M.V. Features of the work of reinforced concrete arches with adjustment of effort under repeated loads // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific – Technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2024. – Issue 113(2024). – P. 195 – 204.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 17.05.2025	Received in revised form 17.05.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

S. V. Filipchuk*

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4464-4620>
Department of Industrial and Civil Engineering named after E.M. Babych
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33028

O.L. Sobishchanskyi

Postgraduate, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2800-7927>
Department of Industrial and Civil Engineering named after E.M. Babych

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33028

*corresponding author, e-mail: s.v.filipchuk@nuwm.edu.ua

Stress-strain state of three-hinged reinforced concrete frames under repeated loading

How to Cite:

Filipchuk S.V., Sobishchanskyi O.L. (2025). Stress-strain state of double-hinged reinforced concrete frames under repeated loading. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 578-587. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-49](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-49)

Abstract. The article presents the results of the study of two-hinged reinforced concrete frames with artificial adjustment of forces under repeated loads. The results of experimental studies of the stress-strain state of U-shaped monolithic reinforced concrete frames with tightening (artificial adjustment of forces) under low-cycle load conditions are presented. The relevance of the work is due to the fact that traditional methods of calculating statically indeterminate reinforced concrete structures do not sufficiently take into account the change in the physical and mechanical properties of materials, the development of cracks and the redistribution of internal forces under the action of repeated loads. For the study, samples of frames were made in which pre-tensioning was created. The tests were performed according to the scheme of the two-hinged system and were subjected to tenfold repeated loading to the level of $0.75 F_u$, after which the frame samples were loaded to failure.

The obtained results show a significant influence of low-cycle loads on the development of deformations of concrete and reinforcement, deflections and parameters of crack formation. It was established that the main part of the residual deformations is formed in the first five load cycles, after which the stress-strain state stabilizes. The formation of plastic hinges in the span and nodes of the frames was analyzed, and the limit deformations preceding the failure were determined. A comparison of two types of frames proved the effectiveness of the artificial force adjustment system: the deflection of the bolt of a two-hinged reinforced concrete frame with artificial force adjustment is 16.1% less than that of a two-hinged reinforced concrete frame without artificial force adjustment under a single load, and by 11.2% under repeated loads.

Keywords: Reinforced concrete frame, stressed-deformed state, artificial adjustment of forces, repeated loads, concrete, reinforcement

УДК 625.7/8

О. О. Фоменко

асистент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-1706>

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Бірулі
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,
Харків, Україна, 61002

А. В. Сєдов*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7879-6614>

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Бірулі
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,
Харків, Україна, 61002

*автор-кореспондент, e-mail: avs.1708@ukr.net

**Визначення раціональних режимів роботи котків при
ущільненні асфальтобетонних покриттів з метою підвищення їх
довговічності**

Цитувати як:

Фоменко, О. О., Сєдов, А. В. (2025). Визначення раціональних режимів роботи котків при ущільненні асфальтобетонних покриттів з метою підвищення їх довговічності. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 588-598. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-50](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-50)

© 2025, Фоменко О. О., Сєдов А. В.

Міцність та довговічність асфальтобетону як типового багатокомпонентного матеріалу залежить від однорідності його структури, процес формування якої дуже складний і вимагає врахування різноманітних факторів: основні з них – температурні параметри суміші та режим ущільнення. У статті наведена інформаційно-функціональна схема виробничо-технологічних факторів процесу ущільнення, що впливають на якість асфальтобетонних покриттів. Структура асфальтобетону, що визначає його міцність та довговічність, значною мірою формується в результаті ущільнення. Сутність ущільнення полягає у збільшенні кількості зв'язків у матеріалі та зміцненні їх. Чим більша насиченість зв'язками одиниці об'єму матеріалу і міцніше ці зв'язки, тим міцніше шар з асфальтобетонної суміші. Режим ущільнення асфальтобетонного покриття - це комплекс технологічних параметрів, що включають температурний режим, тип і масу техніки, що ущільнює, а також послідовність і кількість проходів котків, спрямованих на досягнення необхідного коефіцієнта ущільнення.

Кожний коток використовується в певному інтервалі температури і щільності асфальтобетонної суміші, коли її параметри дозволяють досягати найбільшого ефекту ущільнення за умови відсутності руйнування шару, що ущільняється. Максимальне ущільнення суміші досягається, коли пластичні деформації розвиваються поступово на всю глибину шару.

Розглянуті в статті області роботи котків є основою для вибору комплектів (ланок) ущільнюючих машин та організації їх роботи за раціональними

технологічними схемами ущільнення. Таким чином, представлені результати дозволяють оцінити можливості будь-якого котка, визначити його місце в технологічному процесі та підібрати оптимальний склад комплексу (ланки) котків, маючи на увазі, що в цьому випадку котки працюють в оптимальному режимі.

Ключові слова: асфальтобетонне покриття, ущільнення, температура, однорідність, структура, міцність, довговічність.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Найбільш широке застосування у дорожньому будівництві знайшли гарячі асфальтобетонні суміші. Покриття з цього матеріалу більш стійкі до дії транспортних навантажень і атмосферних факторів [1]. Найважливіша особливість покриттів з гарячої асфальтобетонної суміші – короткий термін їх формування, що пов'язано зі швидким наростанням в'язкості бітуму в процесі охолодження [2]. Так, у діапазоні температур 130-70 °С коефіцієнт в'язкості, в залежності від марки бітуму, збільшується в 5-10 разів. Ця обставина диктує необхідність проведення всіх робіт з доставки суміші, її укладання та ущільнення в стислі терміни. Для влаштування дорожнього покриття існуючою нормативно-технічною документацією регламентується використання комплектів машин: автосамоскидів, асфальтоукладача і котків різних типорозмірів [3]. Щільність, міцність та довговічність асфальтобетонного покриття значною мірою визначаються якістю ущільнення суміші. Отримання високої щільності асфальтобетонного покриття забезпечується відповідною якістю асфальтобетонної суміші та її температурою, вибором параметрів та режимів роботи котків, технологією ущільнення шару [4].

Мета і завдання дослідження. Міцність та довговічність асфальтобетонного покриття як багатокомпонентного матеріалу залежить від однорідності його структури, процес формування якої дуже складний і вимагає врахування різноманітних факторів: основні з них – температурні параметри суміші та режим ущільнення. Метою роботи є аналіз процесу ущільнення асфальтобетонних сумішей на основі обліку температури суміші та характеру діючих навантажень, що забезпечують обґрунтований вибір засобів ущільнення та раціональних технологічних режимів їх роботи.

Матеріали та методи

Методологічною основою для вирішення поставлених завдань є системний підхід у вивченні технології ущільнення асфальтобетонних покриттів. Якість покриттів залежить від однорідності структури асфальтобетону, що формується під дією двох взаємопов'язаних факторів – ущільнюючого навантаження та температури.

Результати та обговорення

Аналіз технологічних процесів при будівництві асфальтобетонних покриттів, зовнішніх впливів, варіантів комплектації загонів дорожніх машин (асфальтоукладальників, дорожніх котків) та їх режимних параметрів, асфальтобетонних сумішей, показників якості ущільнення асфальтобетонних сумішей, дає можливість представити схему (рис. 1) виробничо-технологічних чинників процесу ущільнення, які впливають на якість асфальтобетонних покриттів.



Рис.1. Інформаційно-функціональна схема виробничо-технологічних факторів процесу ущільнення, що впливають на якість асфальтобетонних покриттів

Серед відомих показників якості готового асфальтобетонного покриття можна виділити коефіцієнт ущільнення, який дає інтегральну оцінку ущільнення та за дотриманням нормативних показників, дозволяє зробити прогноз про високу якість асфальтобетонних покриттів.

Дорожні котки для ущільнення асфальтобетонних сумішей можна розділити за характером силового впливу на середовище, що ущільнюється на (рис. 2) [5]:

- машини статичної дії (котки з гладкими металевими вальцями; котки на пневматичних шинах);
- машини динамічної дії (вібраційні котки з металевими вальцями; котки осцилюючої дії);
- машини комбінованої дії (поєднання вібраційного та пневматичного робочого органу).

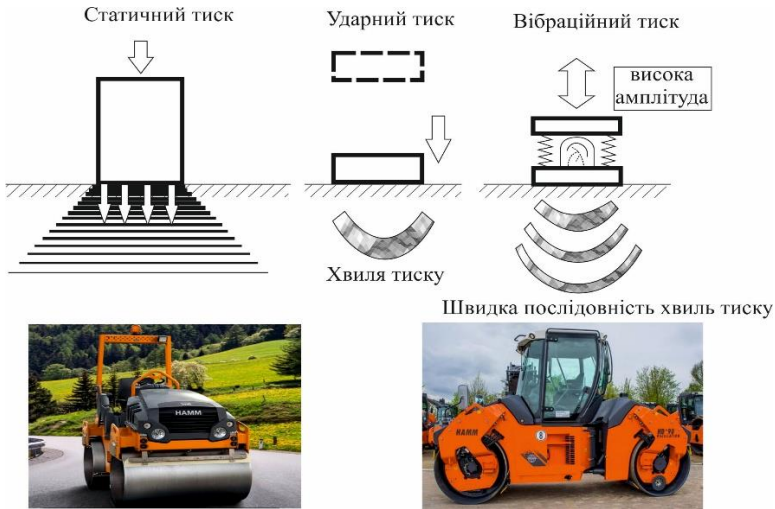
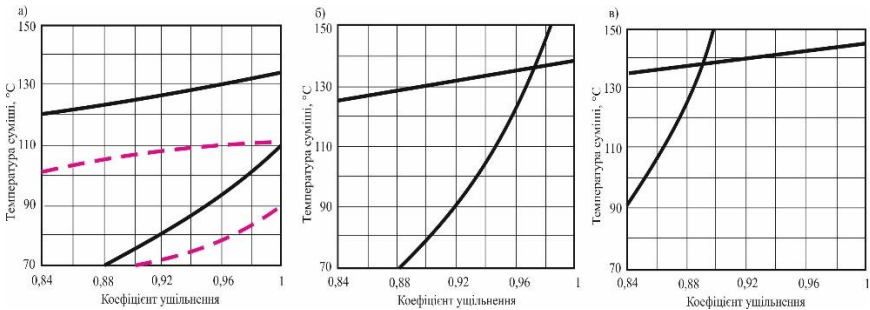


Рис. 2. Різновиди методів ущільнення

Кожний коток використовується в певному інтервалі температури і щільності асфальтобетонної суміші, коли її параметри дозволяють досягати найбільшого ефекту ущільнення за умови відсутності руйнування шару, що ущільнюється. Максимальне ущільнення суміші досягається, коли пластичні деформації розвиваються поступово на всю глибину шару [6, 7].

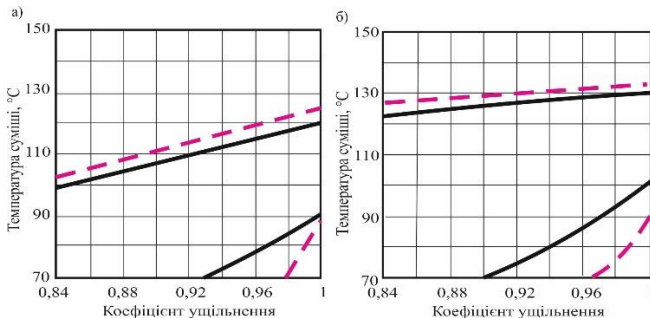
Характер зміни області раціональної роботи від товщини шару, що ущільнюється, можна простежити на прикладі котка Дупарас СС232НФ. Аналіз залежностей (рис. 3) показує, що з збільшенням товщини шару площа можливої області роботи зменшується. При цьому верхня межа області, що визначає міцність шару, трохи піднімається. При $K_y=0,86$ (щільність після укладача) зі зміною товщини шару з 5 см до 10 см межа виходить з 122 °С до 136 °С. Суттєвіше зсувається нижня межа. Так, якщо при товщині шару 5 см котком Дупарас СС232НФ можна досягти необхідного коефіцієнта ущільнення, то при товщині 7 см і 10 см максимальний коефіцієнт ущільнення становить відповідно 0,97 і 0,89. Це говорить про те, що використовувати Дупарас СС232НФ як коток статичної дії при ущільненні шару 10 см недоцільно. Крім того, зі збільшенням товщини шару для досягнення необхідної щільності слід починати ущільнення при більш високих температурах.



товщина шару дрібнозернистої суміші: а) – 5 см; б) – 7 см; в) – 10 см;
 статичний режим – суцільна лінія; вібраційний режим – пунктирна лінія
 Рис. 3. Области раціональної роботи котка Дупарас CC232HF

Область раціональної роботи котка Дупарас CC232HF з включеним віброзбудником показана на рис. 3а, пунктирними лініями. При цьому відмінною особливістю є можливість роботи котка за нижчих температур: від 80 °С до 100 °С. Однак нормативну щільність віброкаток дозволяє досягати при температурі вище 85 °С. Працюючи без вібрації, Дупарас CC232HF дозволяє досягти нормативної щільності на дрібнозернистій суміші товщиною 5 см лише за температури понад 100 °С.

Аналізуючи рис. 3а і рис. 4а, можна помітити, що зі збільшенням лінійного тиску котка, область раціональної роботи зміщується у бік нижчих температур і високих щільностей асфальтобетону.



а) коток DYNAPAC CS1400; б) пневмокаток XP163; дрібнозерниста суміш – суцільна лінія; піщана суміш – пунктирна лінія

Рис. 4. Области раціональної роботи котків DYNAPAC CS1400 і XP163 при товщині шару 5 см

Ця обставина добре узгоджується з тим положенням, що в процесі ущільнення та охолодження суміші необхідно переходити до більш важких

котків. Коток DYNAPAC CS1400, що має високий лінійний тиск, можна застосовувати тільки при температурах не вище 110-120 °С (рис. 4а).

Пневмокотком XP163 можна починати ущільнення дрібнозернистої суміші при $T \approx 125$ °С і досягати $K_y = 0,98$ при $T \geq 95$ °С (рис. 4б). При температурі нижче коток XP163 застосовувати не рекомендується через неможливість ущільнення шару по всій глибині.

Розглянуті вище області роботи котків є основою для вибору комплектів (ланок) ущільнюючих машин та організації їх роботи за раціональними технологічними схемами ущільнення. Однак для практичного використання отримані дані зручно представляти у вигляді залежності коефіцієнта ущільнення від кількості проходів котка:

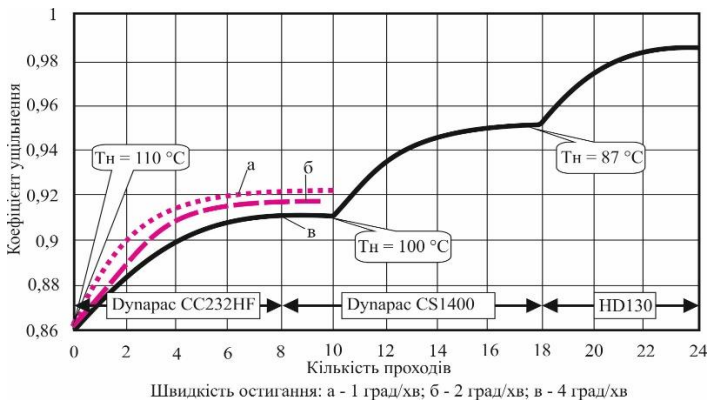
$$K_y = f(n), \quad (1)$$

де n – число проходів котка по одному сліду.

У роботі [8] були розраховані раціональні технологічні схеми ущільнення шару дрібнозернистого асфальтобетону товщиною 5 см.

Перша ланка включала котки Дупарас CC232HF, Дупарас CS1400 та HAMM HD130, друга – котки XP163 та Дупарас CS1400, третя – котки Дупарас CC232HF та HAMM HD130. У третій ланці Дупарас CC232HF працював на початку ущільнення як статичний, а потім як вібраційний коток.

Раціональні технологічні схеми роботи трьох різних ланок представлені на рисунках 5 та 6.



Швидкість остигання: а - 1 град/хв; б - 2 град/хв; в - 4 град/хв

Рис. 5. Раціональна технологічна схема роботи ланки котків

На графіках вказані зони роботи котків та температури початку ущільнення. З рис. 5 видно, що обрана схема ущільнення дозволяє досягати

22 проходками проти загальноприйнятих для такої ланки від 26 проходів до 30 проходів.

На рисунку крива "в" отримана при швидкості остигання асфальтобетонного покриття – $4^{\circ}\text{C}/\text{хв}$. Якщо з будь-якої причини швидкість остигання буде меншою, то ефективність ущільнення зросте. Це підтверджується кривими "а" та "б", які відповідають швидкостям остигання $1^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ і $2^{\circ}\text{C}/\text{хв}$.

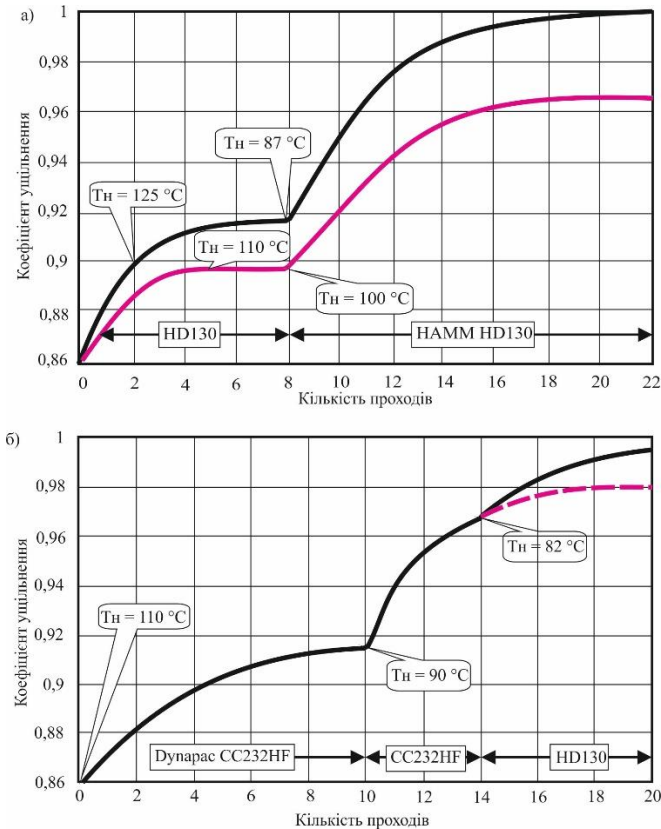


Рисунок 6 – Рациональні технологічні схеми роботи ланок котків

На рис. 6а показані дві технологічні схеми ущільнення ланкою, що складається з пневмокотка ХР163 та важкого котка НАММ HD130. Схеми розрізняються лише параметрами асфальтобетонної суміші на початку ущільнення.

Так, якщо починати ущільнення при температурі 110°C і ця ланка котків не забезпечить необхідної якості ущільнення. Але, якщо почати

ущільнення котком ХР163 при граничній для нього температурі 125 °С, значення $K_y = 0,98$ можна досягти за 14 проходів.

За певних технологічних умов нормативної щільності можна досягти за 18 проходів, використовуючи лише коток Дунарас СС232НФ. Для цього слід здійснити спочатку 10 проходів з відключеним віброзбудником, а потім, увімкнувши його, зробити інші проходи. Однак для досягнення необхідної рівності покриття в ланку додають важкий коток НАММ HD130. У цьому випадку раціональна технологічна схема набуде вигляду, вказаного на рис. 6б.

Таким чином, представлені результати дозволяють оцінити можливості будь-якого котка, визначити його місце в технологічному процесі та підібрати оптимальний склад комплекту (ланки) котків, маючи на увазі, що в цьому випадку котки працюють в оптимальному режимі.

Висновки

Якість ущільнення асфальтобетонної суміші залежить, в основному, від її складу, температури та товщини шару, що ущільнюється. Внаслідок наростання щільності та зниження температури суміші в ході ущільнення безперервно зростають її жорсткість і міцність, що обумовлює, з одного боку, необхідність, а з іншого, можливість постійного підвищення навантаження, що ущільнює.

На основі проведеного аналізу парку котків для асфальтобетону, можна зробити висновок про те, що дорожні котки, що застосовуються в даний час, мають недостатню універсальність і не можуть виконувати ущільнення суміші протягом всього процесу ущільнення через їх вузький діапазон регулювання силових впливів, що надаються на шар. Внаслідок цього виникає необхідність утримання великого парку дорожніх машин, а також зберігається потреба у використанні комплекту котків з різними контактними тисками, що надаються на матеріал, що ущільнюється, з постійно змінюваними фізико-механічними властивостями.

Таким чином, представлені результати дозволяють оцінити можливості будь-якого котка, визначити його місце в технологічному процесі та підібрати оптимальний склад комплекту (ланки) котків, маючи на увазі, що в цьому випадку котки працюють в оптимальному режимі.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Garkusha M. V. Modern aspects of increasing the rut resistance of non-rigid road surfaces / Mozgovy V. V., Onyshchenko A. M., Garkusha M. V., Aksyonov S. Yu. // *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*. – Kyiv – 2012 - No. 5 – P. 25-30.
2. Bihun G. G., Karasyova L. O., Andrusyk Y. F. Assessment of the resistance of road surfaces to wave formation. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4537/3-10-14.pdf>. (access date: 19.09.2025).
3. Warsame A (2013) Framework for Quality Improvement of Infrastructure Projects. *J Civil Eng Archit* 7(12)
4. Kutsman O. M., Mozgovyi V. V., Onyshchenko A. M., Olkhovyi B. Yu., Oproshchenko I. O., Baran S. A., Riznichenko O. S. Assessment of the durability of asphalt concrete pavement by testing asphalt concrete for resistance to accumulation of residual deformations. // *Bulletin of NTU. Series "Technical Sciences": scientific-technical collection*. 2016. Issue 1 (34). P.283-293.
5. Features of asphalt compaction using a roller. URL: <https://sem-ua.com/about/news/osoblivosti-ushchilnennya-asfaltu-za-dopomogoyu-kotka/>. (access date: 17.09.2025).
6. Kopynets I. V., Sokolov O. V., Zheltobryukh A. D., Golovchenko V. S., Dependence of volumetric properties of asphalt concrete on the largest nominal size of aggregate grains and compaction method. *Roads and bridges*. Kyiv, 2023. Issue 27. P. 91–110.
7. Baran S. A., Mozgovyi V. V., Onyshchenko A. M., Kutzman O. M. Design modulus of elasticity of asphalt concrete // *Highways and road construction: scientific and technical collection*. Kyiv. 2017. Issue 100. P. 68-76.
8. Zhdanyuk V. K., Kostin D. Yu. Research of design characteristics of crushed stone-mastic asphalt concretes. *Materials of the VI International Scientific and Practical Conference with the Participation of Young Scientists "Environmental, Legal and Economic Aspects of the Ecological Safety of Regions"*. Kharkiv. 2011. P.196-200.

Література

1. Гаркуша М. В. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // *Автошляховик України*. – Київ – 2012 - № 5 – С. 25-30.

2. Бігун Г.Г., Карасьова Л.О., Андрусик Я.Ф. Оцінка стійкості дорожнього одягу проти хвилеутворення. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4537/3-10-14.pdf>. (дата звернення: 19.09.2025 р).

3. Warsame A (2013) Framework for Quality Improvement of Infrastructure Projects. J Civil Eng Archit 7(12)

4. Куцман О. М., Мозговий В. В., Онищенко А. М., Ольховий Б. Ю., Опрощенко І. О., Баран С. А., Різніченко О. С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. 2016. Вип. 1 (34). С.283-293.

5. Особливості ущільнення асфальту за допомогою котка. URL: <https://sem-ua.com/about/news/osoblivosti-ushchilnennya-asfaltu-za-dopomogoyu-kotka/>. (дата звернення: 17.09.2025 р).

6. Копинець І. В., Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Головченко В. С., Залежність об'ємних властивостей асфальтобетону від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та методу ущільнення. Дороги і мости. Київ, 2023. Вип. 27. С. 91–110.

7. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М. Розрахунковий модуль пружності асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2017. Вип. 100. С.68-76.

8. Жданюк В.К., Костін Д.Ю. Дослідження розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів. Матеріали VI Міжнародної науковопрактичної конференції за участю молодих вчених «Еколого-правові і економічні аспекти екологічної безпеки регіонів». Харків. 2011. С.196-200.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 14.11.2025	Received in revised form 14.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O. O. Fomenko

assistant, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-1706>

Department Construction and operation of highways named after O.K. Birulya
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslav Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

A. V. Siedov*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7879-6614>

Department Construction and operation of highways named after O.K. Birulya
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslav Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

*corresponding author, e-mail: avs.1708@ukr.net

Determination of rational operating modes of rollers when compacting asphalt concrete pavements in order to increase their durability

How to Cite:

Fomenko, O. O., Siedov, A. V. (2025). Determination of rational operating modes of rollers when compacting asphalt concrete pavements in order to increase their durability. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 588-598. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-50](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-50)

Abstract. The strength and durability of asphalt concrete as a typical multi-component material depends on the homogeneity of its structure, the process of formation of which is very complex and requires consideration of various factors: the main ones are the temperature parameters of the mixture and the compaction mode. The article presents an information-functional scheme of production and technological factors of the compaction process that affect the quality of asphalt concrete pavements. The structure of asphalt concrete, which determines its strength and durability, is largely formed as a result of compaction.

The essence of compaction is to increase the number of bonds in the material and strengthen them. The greater the saturation of bonds per unit volume of the material and the stronger these bonds, the stronger the layer of asphalt concrete mixture.

Asphalt concrete pavement compaction modes are a set of technological parameters, including temperature, type and mass of compacting equipment, as well as the sequence and number of passes of rollers aimed at achieving the required compaction coefficient.

Each roller is used in a certain range of temperature and density of the asphalt concrete mixture, when its parameters allow achieving the greatest compaction effect in the absence of destruction of the compacted layer. Maximum compaction of the mixture is achieved when plastic deformations develop gradually over the entire depth of the layer.

The areas of operation of rollers considered in the article are the basis for selecting sets (units) of compacting machines and organizing their work according to rational technological compaction schemes. Thus, the presented results allow assessing the capabilities of any roller, determining its place in the technological process and selecting the optimal composition of the set (unit) of rollers, bearing in mind that in this case the rollers operate in the optimal mode.

Keywords: asphalt concrete pavement, compaction, temperature, uniformity, structure, strength, durability.

УДК 539.3

Т. В. Фурс*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4786-9980>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О. А. Мікуліч

д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4522-596X>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

І. М. Войтюк

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4686-3573>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: t.furs@lntu.edu.ua

Дослідження впливу перлітової добавки на структуру та механічні властивості жорсткого пінополіуретану

Цитувати як:

Фурс, Т. В., Мікуліч, О. А. Войтюк І. М. (2025). Дослідження впливу перлітової добавки на структуру та механічні властивості жорсткого пінополіуретану. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 599-609. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-51](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-51)

© 2025, Фурс Т. В., Мікуліч О. А., Войтюк І. М.

У роботі досліджено вплив перлітової добавки (спучений гранульований перліт) на структурні характеристики та механічні властивості жорсткого пінополіуретану (ППУ). На основі двокомпонентної суміші поліолу та полізоціанату (у ваговому співвідношенні 20 : 40) способом заливки синтезовано шість груп ППУ з різним кількісним вмістом спученого перліту в межах 0...10 мас.ч.

Встановлено, що перлітова добавка входить у поліуретанову матрицю гетерогенно в якості наповнювача, формуючи композитний пінистий матеріал.

Проведено морфологічні дослідження структури на оцінювання пористості піни та визначено густину зразків модифікованої піни. Виявлено кореляцію між пористістю і густиною ППУ при додаванні перлітової гранульованої добавки.

Дослідження механічних властивостей модифікованих перлітовою добавкою жорстких ППУ здійснено на основі випробувань на стиск методом статичного осьового навантаження. За діаграмами стиску визначено величини механічних характеристик (модуль Юнга, межа плинності, відносна пластична деформація) залежно від вмісту добавки перліту. Встановлено, що при кількості перліту 4...6 мас.ч. відбувається зниження модуля пружності і границі плинності унаслідок підвищення пористості ППУ. За концентрації понад 6 мас.ч. цієї добавки спостерігається зворотна тенденція через ущільнення структури та агрегацію перлітових гранул.

Результати дослідження вказують на кореляцію між структурними змінами та механічною поведінкою ППУ-композитів. Зазначено, що кількісний вміст гранульованого перліту впливає на неоднорідність зміни і варіювання механічних характеристик, зокрема, модуля Юнга, межі плинності та відносної пластичної деформації.

Зроблено висновок щодо актуальності проведених досліджень й отриманих результатів в напрямку прикладних аспектів використання ППУ у будівництві та інших галузях інженерної діяльності в якості теплоізоляційних та конструкційних матеріалів з регульованими властивостями.

Ключові слова: пінополіуретан, модифікування, пористість, густина, механічні характеристики, деформація

Вступ

Пінополіуретани (ППУ) є класом полімерів з надзвичайно широким спектром застосування. Завдяки своїй універсальності й доступності вони є одними з найпоширеніших матеріалів у сучасному світі. Ці матеріали виконують функції утеплювача і звукоізолятора у будівництві (ізоляція фундаменту, стін, обшивка, міжповерхові перекриття), у меблевій промисловості, автомобілебудуванні та у багатьох інших сферах використовуються як функціональні елементи виробів (матраци, сидіння, взуття тощо) [1-2].

Проте, для оптимізації їх властивостей, необхідних в умовах експлуатації, а також розширення їх функціональних можливостей у різних сферах, потрібно вдаватися до модифікування.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Дослідження останніх років демонструють, що введення добавок до ППУ дозволяє покращити теплоізоляційні та вогнестійкі характеристики цього матеріалу, водночас зберігаючи або змінюючи механічні властивості. Зокрема, для стабілізації пінополіуретану в процесі спінування використовуються силіконові поверхнево-активні речовини. Показано, що силікон як поверхнево-активна речовина має важливий вплив на пороутворення і пористість піни [3]. У роботах [3-5] досліджено вплив силіконової поверхнево-активної речовини на механічні, термічні та акустичні властивості гнучких пінополіуретанів.

Альтернативним методом отримання пін із специфічними властивостями є використання функціональних наповнювачів. Зокрема, досліджено використання волокон на основі целюлози як армуючого наповнювача у виготовленні поліуретанових пін [6].

Для високопродуктивних застосувань розробляються удосконалені поліуретанові піни з підвищеною вогнестійкістю й хорошими механічними властивостями [7-9].

Поліуретанові піни можуть мати різну пористість, густину, структуру та властивості залежно від добавок і технології. Тому напрямок

модифікування ППУ нині розвивається. Серед таких досліджень особливу увагу привертає модифікування добавкою перліту, характеристики якого можуть бути ефективними для оптимізації властивостей ППУ й розширення їх функціональних можливостей у різних галузях, зокрема, в будівництві у якості тепло- і звукоізоляційного матеріалу.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є дослідження впливу перлітової добавки на структуру та механічні властивості жорсткого пінополіуретану.

Завдання дослідження: способом заливки синтезувати серію жорстких ППУ з різним вмістом добавки гранульованого спученого перліту; методом оптичної мікроскопії дослідити структуру та експериментально дослідити поведінку модифікованих пін за дії статичного осьового навантаження (стиску) й визначити їх механічні характеристики; зробити висновок на основі одержаних результатів.

Матеріали та методи

Сировиною для одержання поліуретанової піни були основні компоненти поліол марки Elastopor H 1701/9 та поліізоціанат марки ISO PMDI 92140, виробник BASF Polyurethanes GmbH, Germany (рис. 1). Склад поліолу містив суміш полієфіру, стабілізаторів, каталізаторів, антипірену, води (спінювач). Для виготовлення жорсткого пінополіуретану компоненти поліол і поліізоціанат брали у співвідношенні 20:40 мас.ч.

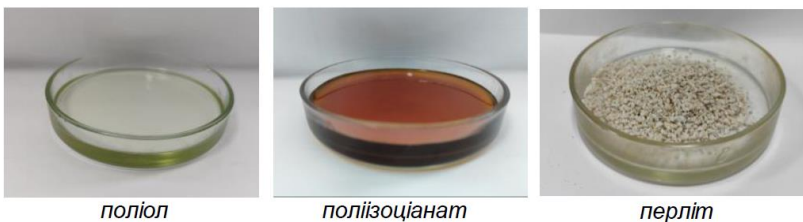


Рис. 1. Зовнішній вигляд вихідних компонентів

Модифікуючою добавкою слугував природний спучений перліт (агроперліт) гранульований з розміром фракцій 0,2 ... 2 мм (рис. 1). Такий вид перліту є легким пористим матеріалом. Вид модифікуючої добавки був вибраний на основі аналізу характеристик перліту: здатність до світловідбивання та низький коефіцієнт теплопровідності (нижчий порівняно з ППУ), що є доцільно для оптимізації властивостей ППУ, особливо для використання у будівельній галузі.

Поліол змішували з перлітовою добавкою до однорідного стану, після чого додавали ізоціанатну складову при інтенсивному механічному перемішуванні аж до початку спінювання. Отриману реакційну суміш заливали у відкриті пластикові форми й залишали для формування піни і

подальшого затвердіння, та витримували її при кімнатній температурі протягом 24 годин для стабілізації. Виготовляли шість груп ППУ-композицій з вмістом перліту 0, 2, 4, 6, 8 і 10 мас.ч. відносно поліол-полізоціанатної суміші (співвідношення мас.ч. 20:40). З отриманих композицій вирізали дослідні зразки кубічної форми розміром близько $30 \times 30 \times 30$ мм³ (рис. 2 – зовнішній вигляд серії дослідних зразків).



Рис. 2. Серія дослідних зразків ППУ

Дослідження поведінки ППУ під дією механічних навантажень визначали за результатами випробувань дослідних зразків на стиснення методом статичного осьового навантаження з використанням випробувальної машини марки МІ-40КУ, оснащеної програмним забезпеченням. За отриманими діаграмами навантажень визначали величини механічних характеристик залежно від вмісту добавки перліту.

Результати та обговорення

У результаті модифікування ППУ перлітовою добавкою формується композит, матрицею якого є поліуретанова піна, а наповнювачем – перліт. Таке модифікування призводить до зміни структури матеріалу. Спостерігається зміна пористості як за морфологією, так і за величиною. Спучений перліт – це пористий матеріал. Його включення у структуру ППУ створює додаткові пори до вже існуючої матриці полімеру, тому відбувається збільшення загального об'єму пор, тобто пористості матеріалу.

Водночас змінюється і морфологія (структура) пор (рис. 3), що посилюється зі збільшенням вмісту перлітової добавки. Гранули перліту у поліуретановій матриці створюють макропори, які відрізняються від власних мікропор ППУ. З підвищенням вмісту перлітової добавки кількість і розміри макропор зростають, а мікропористість поліуретанової піни знижується. Таким чином, ППУ-композит має гетерогенну (неоднорідну) структуру матеріалу (перлітові включення в середовищі ППУ) і гетерогенну

структуру пор (включає як дрібні пори полімеру, так і більші порожнини, утворені перлітом). Чим більший вміст перліту, тим більш виражено проявляється така особливість (рис. 3).

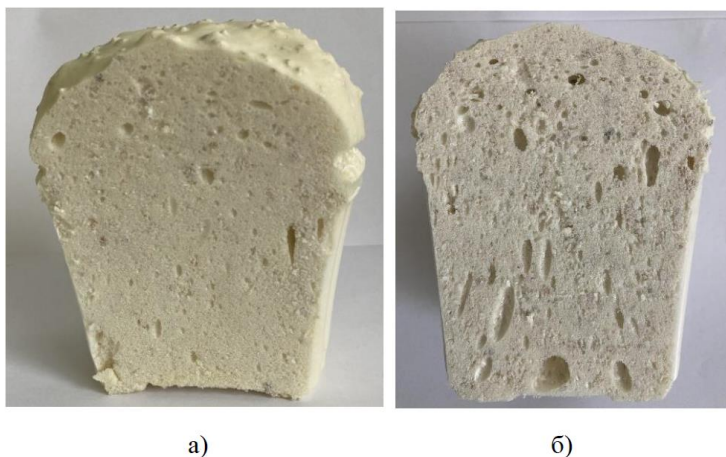


Рис. 3. Поверхня розрізу жорстких ППУ-композицій:
а) – 2 мас. ч. перліту; б) – 10 мас. ч. перліту

Неоднорідність структури по об'єму піни може бути викликана властивостями спученого перліту. Адже він є досить легкий, з дуже низькою густиною, у суміші з поліолом може спливати, а в процесі спінювання – скупчуватись у верхній частині композиції, викликаючи порушення однорідності структури (рис. 3, б). Зважаючи на це, для досліджень використано зразки ППУ, вирізані з середніх частин композицій.

На основі проведених досліджень встановлено, що додавання перлітового наповнювача поряд зі зростанням пористості (рис. 4) знижує загальну густину композиту ППУ від 69.8 кг/м³ до значення 57.3 кг/м³, що відповідає вмісту 4 мас. ч. перліту.

Однак, подальше збільшення вмісту перлітової добавки більше 6 мас. ч., призводить до зростання загальної густини піни (рис. 5). Такий ефект пояснюється тим, що відбувається кореляція між пористістю і густиною при додаванні перлітової добавки, їх значення варіюються залежно від вмісту добавки.

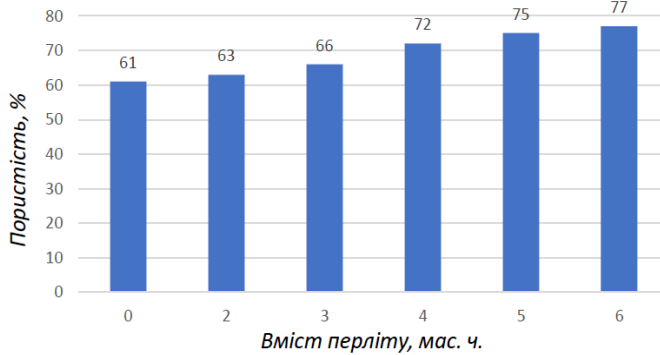


Рис. 4. Пористість жорстких ППУ, модифікованих перлітовою добавкою

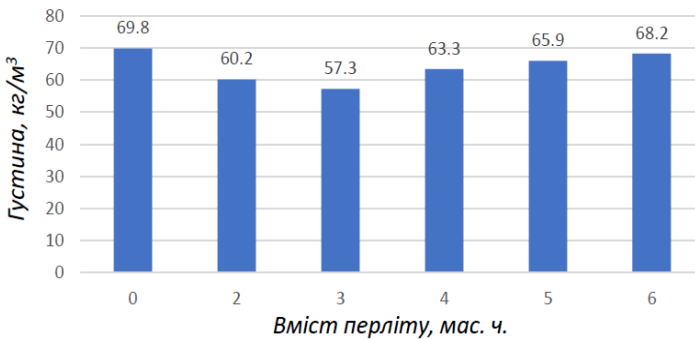


Рис. 5. Густина жорстких ППУ, модифікованих перлітовою добавкою

У результаті проведених експериментальних випробувань на стиск було отримано діаграми навантажень (за стиску) для кожної серії шести груп зразків ППУ з вмістом перлітової добавки від 0 до 10 мас.ч. Типові діаграми навантаження-деформація представлені на рис. 6. Значення механічних характеристик ППУ, модифікованих перлітовою добавкою (спучений перліт) різного вагового вмісту, представлені у таблиці 1.

Як показали результати дослідження кожної групи зразків, збільшення вмісту перлітової добавки від 0 до 6 мас.ч. викликає зниження величини модуля Юнга на 40 % ППУ і зниження межі плинності на 31% (табл. 1); пружність і жорсткість піни знижується. Такі зміни механічних властивостей можливі, оскільки відбулося підвищення пористості матеріалу водночас зі зменшенням його густини.

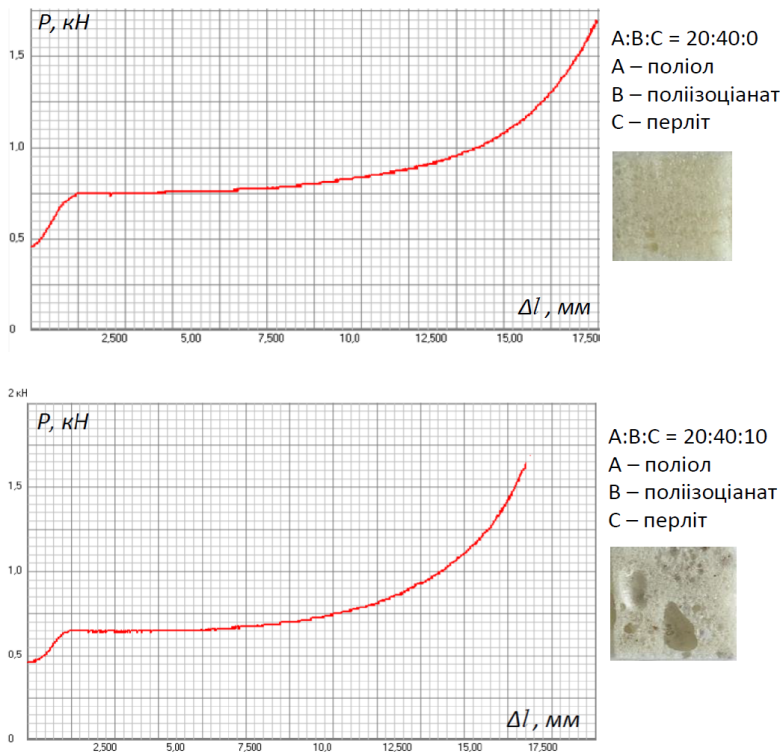


Рис. 6. Діаграми стиску зразків ППУ

Таблиця 1. Дані дослідження механічних характеристик зразків ППУ

Компонентний склад зразків, мас.ч. A : B : C*	Модуль Юнга, E, МПа	Межа плинності, $\sigma_{пл}$, МПа	Відносна пластична деформація, $\delta_{пл}$, %
20 : 40 : 0	13.18	1.59	32.6
20 : 40 : 2	11.25	1.63	39.6
20 : 40 : 4	8.43	1.25	37.4
20 : 40 : 6	7.88	1.09	33.1
20 : 40 : 8	9.95	1.32	34.4
20 : 40 : 10	11.31	1.49	38.5

* A – поліол, B – поліізоціанат, C – перліт

Втім, для зразків ППУ з вмістом перліту більше 6 мас.ч. спостерігається підвищення величини модуля пружності та межі плинності.

На цьому проміжку модифікування величина відносної пластичної деформації змінюється варіативно від кількісного вмісту модифікуючої добавки. Виявлені особливості механічної поведінки модифікованої перлітом піни показують кореляцію між структурними характеристиками (пористість, густина, морфологія), механічними характеристиками і кількісним вмістом перлітової добавки.

Висновки

Встановлено, що перлітова добавка входить у поліуретанову матрицю гетерогенно в якості наповнювача, формуючи композитний пінистий матеріал. Виявлено, що перлітові включення в середовищі ППУ неоднорідно розподілені, формуючи неоднорідну структуру. Така особливість посилюється й проявляється більш виражено у міру збільшення вмісту перлітової добавки.

Пористість носить неоднорідний характер, зростає зі збільшенням вмісту перліту. Густина модифікованих ППУ корелюється і варіюється з кількісним вмістом гранульованого перліту.

Особливість природи і властивостей гранульованого спученого перліту та його кількісний вміст впливає на неоднорідність зміни і на варіювання механічних характеристик, зокрема, модуля Юнга, межі плинності та відносної пластичної деформації.

Додавання гранульованого перліту у поліуретанову матрицю дає змогу одночасно змінювати морфологію піни, її пористість та механічні властивості.

Отримані результати мають новизну, є актуальними в напрямку прикладних аспектів використання ППУ у будівництві та інших галузях інженерної діяльності, однак потребують подальших досліджень щодо способу оптимізації процесу модифікування з отриманням однорідного за структурою матеріалу з покращеними властивостями.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Ates, M., Karadag, S., Eker, A.A. and Eker, B. (2022), Polyurethane foam materials and their industrial applications. *Polym Int*, 71: 1157-1163. <https://doi.org/10.1002/pi.6441>
2. Gama, N. V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane Foams: Past, Present, and Future. *Materials*, 11(10), 1841. <https://doi.org/10.3390/ma11101841>
3. Olena Mikulich, Olga Hulay, Tetiana Furs, Vasylyna Shemet. (January 2024), Strength and mechanical characteristics of modified polyurethane foams. *Procedia Structural Integrity* 59(21):460-465 <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.065>
4. Baferani, A.H., Keshavarz, R., Asadi, M. and Ohadi, A.R. (2018), Effects of Silicone Surfactant on the Properties of Open-Cell Flexible Polyurethane Foams. *Adv. Polym. Technol.*, 37: 71-83. <https://doi.org/10.1002/adv.21643>
5. Mantha, S., Chao, H., Ylitalo, A., Fitzgibbons, T., Zhou, W., Ginzburg, V., & Wang, Z. G. (2021). Effect of silicone surfactant on the CO₂ bubble nucleation in polyol. In APS March Meeting Abstracts (Vol. 2021, pp. R04-012).
6. Stanzione, M., Oliviero, M., Cocca, M., et al. Tuning of polyurethane foam mechanical and thermal properties using ball-milled cellulose, Carbohydrate Polymers, 231, 2020, 115772, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115772>.
7. Lubczak R., Dominik Broda D., Agata W., Renata Kus M. (2018), Preparation and characterization of boron-containing polyurethane foams with carbazole. *Polym. Test*. 70:403–412. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.07.027>
8. Chai H., Duan Q., Jiang L., Sun J. (2019), Effect of inorganic additive flame retardant on fire hazard of polyurethane exterior insulation material. *J. Therm. Anal. Calorim.* 135:2857–2868. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7797-3>
9. Obiechefu Z., Chibuzor O., Naidoo D., Hendrica M., Selby M. (2024), Comparison of biowaste fillers extracted from fish scales and collagen on the mechanical properties of high-density polyurethane foams. *Polymers*. 16:2825. <https://doi.org/10.3390/polym16192825>

Література

1. Ates, M., Karadag, S., Eker, A.A. and Eker, B. (2022), Polyurethane foam materials and their industrial applications. *Polym Int*, 71: 1157-1163. <https://doi.org/10.1002/pi.6441>
2. Gama, N. V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane Foams: Past, Present, and Future. *Materials*, 11(10), 1841. <https://doi.org/10.3390/ma11101841>
3. Olena Mikulich, Olga Hulay, Tetiana Furs, Vasylyna Shemet. (January 2024), Strength and mechanical characteristics of modified polyurethane foams. *Procedia Structural Integrity* 59(21):460-465 <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.065>
4. Baferani, A.H., Keshavarz, R., Asadi, M. and Ohadi, A.R. (2018), Effects of Silicone Surfactant on the Properties of Open-Cell Flexible Polyurethane Foams. *Adv. Polym. Technol.*, 37: 71-83. <https://doi.org/10.1002/adv.21643>
5. Mantha, S., Chao, H., Ylitalo, A., Fitzgibbons, T., Zhou, W., Ginzburg, V., & Wang, Z. G. (2021). Effect of silicone surfactant on the CO₂ bubble nucleation in polyol. In APS March Meeting Abstracts (Vol. 2021, pp. R04-012).

6. Stanzione, M., Oliviero, M., Cocca, M., et al. Tuning of polyurethane foam mechanical and thermal properties using ball-milled cellulose, Carbohydrate Polymers, 231, 2020, 115772, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115772>.

7. Lubczak R., Dominik Broda D., Agata W., Renata Kus M. (2018), Preparation and characterization of boron-containing polyurethane foams with carbazole. *Polym. Test.* 70:403–412. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.07.027>

8. Chai H., Duan Q., Jiang L., Sun J. (2019), Effect of inorganic additive flame retardant on fire hazard of polyurethane exterior insulation material. *J. Therm. Anal. Calorim.* 135:2857–2868. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7797-3>

9. Obiechefu Z., Chibuzor O., Naidoo D., Hendrica M., Selby M. (2024), Comparison of biowaste fillers extracted from fish scales and collagen on the mechanical properties of high-density polyurethane foams. *Polymers.* 16:2825. <https://doi.org/10.3390/polym16192825>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.11.2025	Received 12.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 13.11.2025	Received in revised form 13.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

T. V. Furs*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4786-9980>
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

O. A. Mikulich

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4522-596X>
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

I. M. Voitiuk

Ph.D. Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4686-3573>
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: t.furs@lntu.edu.ua

Investigation of the effect of perlite additive on the structure and mechanical properties of rigid polyurethane foam

How to Cite:

Furs, T. V., Mikulich, O. A., Voitiuk, I. M. (2025). Investigation of the effect of perlite additive on the structure and mechanical properties of rigid polyurethane foam. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 599-609. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-51](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-51)

Abstract. This work investigates the influence of a perlite additive (expanded granulated perlite) on the structural characteristics and mechanical properties of rigid polyurethane foam (RPUF). Based on a two-component mixture of polyol and polyisocyanate (in a weight ratio of 20:40), six groups of RPUF were synthesized by the

casting method with different quantitative contents of expanded perlite in the range of 0–10 parts by weight (pbw).

The study focused on determining the patterns of change in the structural and mechanical characteristics of PPU depending on the quantitative content of the modifying additive. It was established that the perlite additive is incorporated into the polyurethane matrix heterogeneously as a filler, forming a composite foam material.

Morphological studies of the structure were carried out to evaluate the foam porosity, and the density of the modified foam samples was determined. A correlation was found between the porosity and density of RPUF with the addition of the granulated perlite additive.

The investigation of the mechanical properties of rigid RPUF modified with the perlite additive was carried out based on compression tests using the static axial loading method. From the compression diagrams, the values of mechanical characteristics (Young's modulus, yield strength, relative plastic deformation) were determined depending on the perlite additive content. It was found that at a perlite content of 4–6 pbw, a decrease in the modulus of elasticity and yield strength occurs due to an increase in the RPUF porosity. At concentrations of this additive above 6 pbw, an opposite trend is observed due to the densification of the structure and the aggregation of perlite granules.

The research results indicate a correlation between structural changes and the mechanical behavior of RPUF composites. It is noted that the quantitative content of granulated perlite influences the non-uniformity of change and variation of mechanical characteristics, in particular, Young's modulus, yield strength, and relative plastic deformation.

A conclusion is drawn regarding the relevance of the conducted research and the obtained results in the context of applied aspects of using RPUF in construction and other engineering fields as thermal insulation and structural materials with adjustable properties.

Keywords: polyurethane foam, modification, porosity, density, mechanical characteristics, deformation.

УДК 697.1

П.В. Хвищук

студент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8566-6202>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О.В. Дзюбинська*

к.е.н, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1478-8452>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

М. В. Смаль

к.т.н, доцент ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

А.В. Дзюбинський

к.е.н, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-9852>

Кафедра товарознавства та експертизи в митній справі

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Д.О. Смаль

студент

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: oksanaklimuk@ukr.net

Сучасні тренди кліматичного обладнання в організації енергоефективності житлових та громадських будівель

Цитувати як:

Хвищук, П.В., Дзюбинська, О.В., Смаль, М.В., Дзюбинський, А.В., Смаль, Д.О. (2025). Сучасні тренди енергоефективного кліматичного обладнання для житлових та громадських будівель. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 610-620. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-52](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-52)

© 2025, Хвищук П.В., Дзюбинська О.В., Смаль М.В., Дзюбинський А.В., Смаль Д.О.

У роботі здійснено комплексний аналіз сучасних тенденцій, технологічних інновацій та перспектив впровадження енергоефективного кліматичного обладнання в житловому і громадському будівництві. Актуальність теми зумовлена критичною необхідністю скорочення глобальних викидів вуглекислого газу, а також зростаючими вимогами до енергетичної автономності будівель в умовах високих цін на енергоносії та інфраструктурних ризиків, що є особливо важливим для України. Метою дослідження є систематизація передових інженерних рішень, що дозволяють наблизити експлуатаційні характеристики об'єктів нерухомості до стандартів будівель з майже нульовим споживанням енергії (NZEB). У статті розглянуто обладнання технологій відновлюваної енергетики, зокрема фотоелектричних систем (PV). Автори відзначають зростання ефективності сучасних монокристалічних модулів та зниження вартості електроенергії (LCOE), а також аналізують потенціал інтегрованих у

будівлі фотоелектричних систем (BIPV). Значну увагу приділено технологіям теплових насосів як ключовому інструменту декарбонізації систем опалення та гарячого водопостачання. Наведено порівняльний аналіз ефективності повітряних і геотермальних теплових насосів. Відзначено переваги тенденції частішого встановлення теплових насосів «повітря-повітря» для МАФ. Для сектору комерційної нерухомості досліджено переваги впровадження систем зі змінною витратою холодоагенту (VRV/VRF) та інверторних чилерів з функцією рекуперації тепла. Зазначено, що сучасні VRV-системи і чилери демонструють високі показники сезонної енергоефективності і забезпечують гнучкість мікроклімату завдяки можливості одночасної роботи на опалення і охолодження. Також висвітлено роль припливно-витяжних установок з високоефективною рекуперацією тепла у зменшенні вентиляційних тепловтрат. Зроблено висновок, що інтеграція розглянутого обладнання, попри вищі початкові інвестиції, є безальтернативним шляхом до підвищення класу енергоефективності будівель та забезпечення їхньої стійкості до сучасних енергетичних викликів.

Ключові слова: енергоспоживання, кліматичне обладнання, проєкт, управління будівлею, ефективність.

Вступ

На сьогоднішній день зведення та експлуатація будівель несуть відповідальність за 34 % від усіх викидів CO₂, що пов'язані з енергетикою [1]. Цей сектор також використовує понад третину загального світового кінцевого енергоспоживання. Прогнозується, що попит на електроенергію з боку будівельної галузі помітно зросте до 2035 року, переважно через потреби в охолодженні [2]. Через це людство надзвичайно зацікавлене в оптимізації споживання електроенергії під час експлуатації як житлових, так і комерційних будівель. До того ж, самі власники або орендарі будівель різного типу зацікавлені у скороченні своїх платіжок за комунальні послуги на тлі глобальної тенденції до високих цін на всі види енергоресурсів. Тому значний науковий та технічний потенціал спрямовується на розробку та модернізацію кліматичного обладнання з кращими характеристиками та показниками енергоефективності. В Україні ця тенденція посилюється проблемами з енергозабезпеченням, які спричинені безперервними атаками на нашу енергетичну інфраструктуру.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. У сучасних наукових працях значна увага приділяється підвищенню енергоефективності будівель через модернізацію теплотехнічних та вентиляційних систем. О. Савченко окреслює ключові напрями удосконалення централізованого теплопостачання, а П. Кіріченко доводить ефективність рекуператорів як інструменту зменшення теплових втрат [3, 4]. Дослідження С. Шаповала підтверджують перспективність сонячних і гібридних фото-теплових систем у світлопрозорих фасадах, тоді як роботи Ю. Коваленка, А. Полив'ячука демонструють ефективність теплопоглинальних покриттів та природоорієнтованих технологій

енергомодернізації, а в працях О. Пахолюка проаналізовано втрати опалювальних систем у наявному будівельному фонді [5-8]. Економічні переваги впровадження інноваційного кліматичного обладнання ґрунтовно висвітлено у статті О. Жусь та К. Гуйван [9].

Незважаючи на наявні напрацювання, актуальними залишаються подальші дослідження, спрямовані на вдосконалення кліматичних систем, інтеграцію відновлюваних джерел енергії, розвиток комбінованих технологій та пошук оптимальних проєктних рішень для підвищення енергетичної ефективності будівель.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є окреслення напрямів розвитку технологій у сфері енергоефективного кліматичного обладнання, а завданнями – аналіз цих технологій та застосування їх при проєктуванні будівель у контексті сучасних енергетичних викликів.

Методи та матеріали

Методологічною основою статті є комплексний огляд наукових публікацій, аналітичних матеріалів та фахових досліджень, присвячених енергоефективному кліматичному обладнанню для житлових і громадських будівель. У роботі застосовано методи систематизації, порівняльного аналізу, узагальнення та контент-аналізу, що дозволило виокремити ключові тенденції розвитку сучасних технологій у сфері теплопостачання, вентиляції, сонячної енергетики та енергомодернізації огорожувальних конструкцій.

Матеріалами дослідження слугували результати сучасних наукових публікацій українських та зарубіжних авторів, а також аналітичні звіти міжнародних енергетичних організацій і профільних асоціацій.

Результати та обговорення

Виклики енергоспоживання вирішуються за допомогою таких технологічних інновацій кліматичного обладнання (класифікацію див. на рис. 1), як фотоелектричні (сонячні) панелі, сонячні теплові колектори, теплові насоси, реверсивні чилери, системи зі змінною витратою холодоагенту, вентиляційні установки з рекуперацією тепла, вітрові турбіни, пристрої для накопичення енергії та системи опалення, що працюють на біомасі. Стрімкий розвиток цих технологій останніми роками зумовлений підвищенням цін на енергоносії, кліматичними проблемами, а також технологічними інноваціями, цифровізацією і інтеграцією в системи управління будівлями. У сукупності вони формують технологічну базу для об'єктів, що проєктуються згідно з вимогами до будівель з майже нульовим споживанням енергії (NZEB) у Європі, та допомагають у досягненні кліматично нейтральних цілей до 2050 р. Серед обладнання, що базується на відновлюваних джерелах енергії, найпоширенішими в масштабах житлових та комерційних споруд є технології перетворення сонячної

енергії, з яких фотоелектричні панелі (PV) займають провідні позиції з впровадження у світі. Фотоелектричні модулі трансформують сонячне випромінювання в електроенергію, використовуючи напів-провідникові матеріали, найчастіше – кристалічний кремній. Ефективність панелей суттєво зросла за останні 20 років: якщо середня ефективність комерційних модулів на початку 2000-х була близько 12-14 %, то сучасні монокристалічні модулі демонструють понад 26 % в лабораторних умовах та до 24 % при комерційному застосуванні [10]. Тонкоплівкові технології, наприклад, телурид кадмію (CdTe) та селенід міді-індію-галію (CIGS), мають дещо нижчу ефективність, зазвичай в межах 15-18 %, але вони виграють у гнучкості та можливостях інтеграції в фасади будівлі.

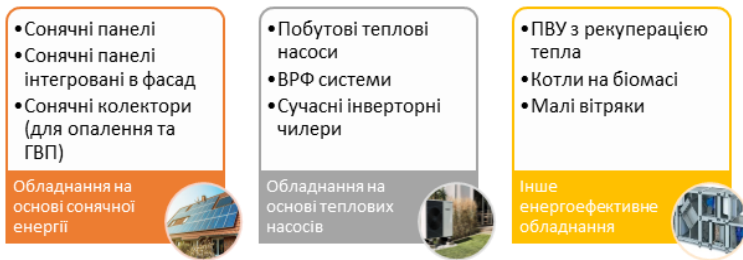


Рис. 1. Типи енергоефективного обладнання для будівель та споруд

Новим трендом стала інтегрована в будівлі фотоелектрична система (BIPV), де сонячні модулі вбудовуються прямо у фасади, вікна чи дахи, замінюючи традиційні будматеріали та генеруючи електроенергію (рис. 2).



Рис. 2. Фотоелектрична система, вбудована в фасад

Економічна вигідність фотоелектричних панелей зазвичай оцінюється через нормалізовану вартість електроенергії (LCOE), яка для спеціалізованих великих проєктів у Європі знизилася до 30 – 40 дол./МВт-год у 2024 р. [11]. Для менших дахових систем ці показники є дещо гіршими. Економічна доцільність впровадження сонячних панелей для житлових та комерційних об'єктів залежить не лише від співвідношення ціни та

ефективності системи, але й від локальних умов: тарифів на власне споживання, тарифів на електроенергію та наявності програм нетто-лічильника або «зелених» тарифів. В Україні ринок дахових ФЕС стрімко зростає з 2015 р., підтриманий сприятливими «зеленими» тарифами. Хоча війна тимчасово пригальмувала ріст ринку, вже у 2024 р. впровадження «зеленого тарифу» для бізнесу дало потужний поштовх цьому сектору.

У той час як фотоелектричні панелі створені для виробництва електрики, сонячні теплові колектори цілеспрямовано розроблені для перетворення сонячної енергії на тепло [12]. Нагріта рідина циркулює через теплообмінник, передаючи теплову енергію системам гарячого водопостачання (ГВП) або контурам опалення. Найпоширенішими є два типи колекторів: плоскі та вакуумні трубчасті.

Теплові насоси є однією з ключових технологій для досягнення суттєвого зменшення викидів, пов'язаних з експлуатацією будівель та скорочення залежності від викопного палива. Вони роблять за принципом циклу паростискання, забираючи низькопотенційне тепло з довкілля (повітря, води чи ґрунту) і підвищуючи його температуру до рівня, придатного для опалення чи ГВП [12-14]. Оскільки обсяг енергії, «перекачаної» з відновлюваних джерел, зазвичай у кілька разів перевищує обсяг електроенергії, витраченої на роботу компресора, теплові насоси мають ефективність, що значно вища за звичайне електричне опалення.

Головним показником ефективності теплових насосів є коефіцієнт перетворення (COP), що визначається як співвідношення корисної теплової потужності до спожитої електроенергії. За оптимальних умов, сучасні теплові насоси «повітря-вода» демонструють сезонні коефіцієнти перетворення (SPF) в діапазоні 3,0-5,0, тоді як геотермальні системи часто сягають рівня 5,1-5,4 і вище [14]. Це означає, що на кожен спожиту кВт·год електрики можна отримати 3-5 кВт·год тепла, і це тепло класифікується як відновлювана енергія згідно з європейським та українським законодавством. Саме ця технологія на даний момент є найпоширенішим методом зниження витрат на опалення для приватних будинків та невеликих комерційних об'єктів.

Теплові насоси типу «повітря-вода» зараз є найбільш поширеними для житлових та комерційних будівель. Їхня популярність пояснюється відносно низькими витратами на монтаж та відсутністю необхідності буріння чи доступу до ґрунтових вод. В кліматичних умовах України, де попит на опалення взимку значний, однак температури менше -15 °C є рідкістю, теплові насоси «повітря-вода» є особливо привабливими. Також популярною є комбінація теплових насосів з фотоелектричними системами, що дозволяє досягти високого рівня декарбонізації опалення.

Окремо варто виділити теплові насоси «повітря-повітря», які по суті є інверторними кондиціонерами, модифікованими для ефективнішої роботи на обігрів. Вони пропонують легкість монтажу, низькі витрати на опалення

та охолодження, а також відсутність потреби у створенні повноцінної системи опалення, яка до того ж зазвичай містить воду, що може замерзнути і пошкодити труби. Тому це рішення в Україні набуває великої популярності для МАФів, дач та приватних будинків, які використовуються на непостійній основі.

Інверторні реверсивні чилери є технологією, що масштабує принцип дії сучасних теплових насосів на рівень великих промислових та комерційних будівель. Вони по своїй суті є тепловими насосами типу «моноблок». Більшість чилерів з інверторним управлінням, що є на ринку, активно пропонуються як теплові насоси, що можуть працювати як на охолодження, так і на обігрів, залежно від режиму.

Для комерційних об'єктів, таких як ТРЦ, лікарні чи ЦОД, чилери з рекуператорами тепла можуть забезпечувати одночасне опалення та охолодження, збираючи відпрацьоване тепло від охолоджувальних процесів та використовуючи його для підігріву ГВП або подачі в контури опалення. Ця подвійна функція значно покращує загальну ефективність системи, оскільки рекупероване тепло суттєво зменшує потребу в опаленні на викопному паливі. Таким чином, межа між чилерами та тепловими насосами стає все більш умовною, а виробники позиціонують свої реверсивні чилери як ключові технології для досягнення стандартів NZEB у великих будівлях.

Ще однією провідною категорією технологій, що використовує відновлювану енергію для великих будівель, є системи зі змінною витратою холодоагенту (VRF) або змінним об'ємом холодоагенту (VRV, рис. 3), які за принципами роботи ідентичні – різниця лише в патенті. Вони з'явилися в Японії у 1980-х роках і зараз активно поширюються в Європі та Азії. Вони складаються з декількох внутрішніх блоків, підключених до одного зовнішнього блоку, та мають складні системи управління для оптимізації енергоспоживання. Коефіцієнти сезонної енергоефективності (SEER) для VRV систем часто перевищують 7,0, а коефіцієнти сезонної продуктивності опалення (SCOP) варіюються від 3,5 до 5,0, залежно від клімату [15]. Системи VRV забезпечують модульність та гнучкість, що робить їх ідеальними для модернізації існуючих комерційних будівель зі складною структурою орендарів, як-от офісні центри, готелі чи ТРЦ, або для тих, хто не бажає псувати фасад будівлі численними спліт-системами. Оскільки системи VRV здатні одночасно охолоджувати одну зону, рекуперуючи тепло для обігріву іншої, вони досягають ефективності, що не лише перевершує теплові насоси, але й сприяє значному зменшенню енерговитрат (рис. 3). Ця властивість робить VRV системи ключовим компонентом багатьох сучасних енергоефективних комерційних будівель.

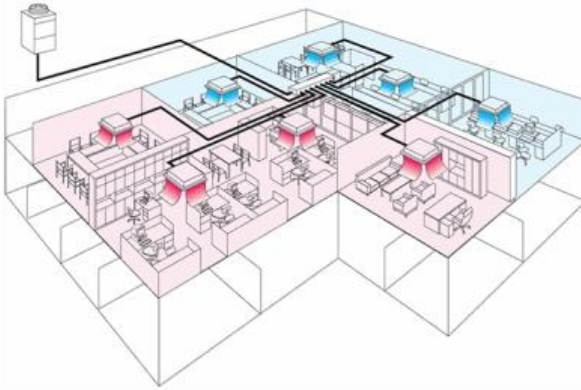


Рис. 3. Принцип дії системи VRV в режимі одночасного нагріву та охолодження

Нарешті, вентиляція є надзвичайно важливим елементом енергоефективності будівель, а сучасні припливно-витяжні установки (ПВУ) з рекуперацією тепла є одним з найефективніших методів для скорочення енерговтрат. У звичайних системах вентиляції значний обсяг нагрітого або охолодженого повітря просто викидається назовні, а на його місце подається необроблене зовнішнє повітря, що створює значну потребу в його нагріванні чи охолодженні. Оснащені теплообмінниками ПВУ забирають тепло з витяжного повітря і передають його свіжому припливному, часто досягаючи ефективності рекуперації тепла 70-90 %.

Висновки

Ринок енергоефективного обладнання (фотоелектричні (сонячні) панелі, сонячні теплові колектори, теплові насоси, реверсивні чилери, системи зі змінною витратою холодоагенту, вентиляційні установки з рекуперацією тепла, вітрові турбіни, пристрої для накопичення енергії та системи опалення, що працюють на біомасі) дуже динамічно розвивається, пропонуючи широкий спектр кліматичних рішень для житлових та нежитлових об'єктів. На даний час головним недоліком більшості згаданих типів обладнання є високі початкові інвестиції. Проте, є чітка тенденція до зниження цін зі зростанням ринку та появою на ньому нових гравців. Крім того, всі ці рішення гарантовано окуплюють себе в процесі експлуатації та дозволяють досягти високого класу енергоефективності будівель.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. United Nations Environment Programme (UNEP). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi. URL: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
2. International Energy Agency. World Energy Outlook 2025. IEA, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025#overview>
3. Savchenko, O. (2024). Improving the energy efficiency of buildings in the context of recovery and reconstruction through the introduction of district heating systems. *Science and Construction*, 38(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-6>
4. Savin, V. V., Kirichenko, P. S. (2023). Recuperators as a way to improve the efficiency of mechanical ventilation systems in building energy saving. *Bulletin of Kryvyi Rih National University*, 56, 104–109. <https://doi.org/21/2/10.317306-5451-2023-1-56-104-109>
5. Shapoval, S., Pryshliak, Yu., Hulai, B., Hensetskyi, M., Kasynets, M. (2024). Energy-efficient hybrid solar collectors integrated into transparent building structures. *Technical Sciences and Technologies*, 3(37), 217–227. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-217-227](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-217-227)
6. Kovalenko, Yu. L., Polyvianchuk, A. P., Beketov, V. Ye. (2024). Study of the efficiency of nature-based technologies during building energy modernization. *Visnyk VPI*, 5, 33–39. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-176-5-33-39>
7. Kovalenko, Yu. L., Polyvianchuk, A. P., Maliarenko, V. A., Ponomarenko, Ye. H. (2025). Increasing the energy efficiency of buildings by finishing external enclosing structures with heat-absorbing coatings. *Visnyk VPI*, 2, 23–31. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-23-31>
8. Pakholiuk, O., Samchuk, V., Chapiuk, O., Onyshchuk, O. (2025). Heat loss level of heating systems of existing buildings. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 22, 153–160. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-15)
9. Zhus, O., Huivan, K. (2025). Resource saving in construction: energy-efficient approaches and economic feasibility. *Economics and Society*, 72. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-25>
10. Philipps, S., Warmuth, W. (2025). Photovoltaics Report. *Fraunhofer ISE*. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
11. Renewable Power Generation Costs in 2024. *IRENA*, 2025. URL: <https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024>
12. Mosiichuk, I.V., Uzhehova, O.A., Rotko, S.V., Synii, S.V., Pakholiuk, O.A. (2022). Application of heat pumps in the heating and hot water supply systems on the

example of the city of Lutsk. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 18, 71-80. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-09](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-09)

13. Synii, S. V., Hupik, N. V., Ksonshkevych, L. M., Krantovska, O. M., Uzhegova, O. A., Rotko, S. V. (2025). Features of the methodology for integration engineering networks with a heat pump in building in the Sapalayivka River valley in Lutsk. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 23, 285-300. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-25)

14. Heat Pumps: How they work and why they matter. *EHPA*, 2018. URL: <https://ehpa.org/news-and-resources/publications/heat-pumps-integrating-technologies-to-decarbonise-heating-and-cooling/>

15. Decarbonisation of buildings made easy: Benefit from leading VRV 5 technology. *Daikin Europe*, 2023. URL: https://catalogues.daikin.eu/flipbooks/EN/Air_cooling/ECPEN25-213/index.html

Література

1. United Nations Environment Programme (UNEP). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi. URL: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>

2. International Energy Agency. World Energy Outlook 2025. IEA, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025#overview>

3. Савченко, О. (2024). Підвищення енергетичної ефективності будівель в умовах відновлення та відбудови шляхом впровадження централізованих систем теплопостачання. *Наука та будівництво*, 38(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-6>

4. Савін, В. В., Кіріченко, П. С. (2023). Рекуператори як шлях підвищення ефективності систем механічної вентиляції в питанні енергозбереження будинків. *Вісник Криворізького національного університету*, 56, 104-109. <https://doi.org/10.317306-5451-2023-1-56-104-109>

5. Шаповал, С., Пришляк, Ю., Гулай, Б., Генсецький, М., Касинець, М. (2024). Енергоефективні гібридні сонячні колектори інтегровані у світлопрозорі конструкції будівель. *Технічні науки та технології*, 3(37), 217-227. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-217-227](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-217-227)

6. Коваленко Ю. Л., Полив'янчук А. П., Бекетов В. С. (2024). Дослідження ефективності використання природоорієнтованих технологій під час проведення енергомодернізації будівель. *Вісник ВПІ*, 5, 33-39. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-176-5-33-39>

7. Коваленко Ю. Л., Полив'янчук А. П., Маляренко В. А., Пономаренко С. Г. (2025). Підвищення енергоефективності будівель оздобленням зовнішніх огорожувальних конструкцій теплопоглинальним покриттям. *Вісник ВПІ*, 2, 23-31. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-23-31>

8. Пахолок О., Самчук В., Чапюк О., Онищук О. (2025). Рівень тепловтрат систем опалення існуючих будівель. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 22, 153-160. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-15)

9. Жусь, О., Гуйван, К. (2025). Ресурсозбереження в будівництві: енергоефективні підходи та економічна доцільність. *Економіка та суспільство*, 72. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-25>

10. Philipps, S., Warmuth, W. (2025). Photovoltaics Report. *Fraunhofer ISE*. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>

11. Renewable Power Generation Costs in 2024. *IRENA*, 2025. URL: <https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024>
12. Мосійчук, І. В., Ужегова, О. А., Ротко, С. В., Синій, С. В., Пахолюк, О. А. (2022). Застосування теплових насосів у системах опалення і гарячого водопостачання на прикладі міста Луцька. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 18, 71-80. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-09](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-09)
13. Синій, С. В., Гупік, Н. В., Ксьоншкевич, Л. М., Крантовська, О. М., Ужегова, О. А., Ротко, С. В. (2025). Особливості методики інтеграції інженерних мереж з тепловим насосом у будівлю в долині річки Сапалаївки у Луцьку. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 23, 285-300. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-25)
14. Heat Pumps: How they work and why they matter. *EHPA*, 2018. URL: <https://ehpa.org/news-and-resources/publications/heat-pumps-integrating-technologies-to-decarbonise-heating-and-cooling/>
15. Decarbonisation of buildings made easy: Benefit from leading VRV 5 technology. *Daikin Europe*, 2023. URL: https://catalogues.daikin.eu/flipbooks/EN/Air_conditioning/ECPEN25-213/index.html

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.11.2025	Received in revised form 15.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

P. V. Khvyshchuk

Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8566-6202>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

O. V. Dziubynska*

PhD in Economics, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1478-8452>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

M. V. Smal

PhD in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

A. V. Dziubynskyi

PhD in Economics, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-9852>

Department of Commodity Science and Customs Expertise

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

D.O. Smal

Student

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: oksanaklimuk@ukr.net

Modern trends of climate equipment in organizing the energy efficiency of residential and public buildings

How to Cite:

Khvyshchuk, P. V., Dziubynska, O. V., Smal, M. V., Dziubynskiy, A. V., Smal D.O. (2025). Modern trends in energy-efficient climate equipment for residential and public buildings. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*, 24, 610-620. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-52](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-52)

Abstract. The paper provides a comprehensive analysis of current trends, technological innovations, and prospects for the implementation of energy-efficient climatic equipment in residential and public construction. The relevance of the topic is driven by the critical need to reduce global carbon dioxide emissions, as well as by growing requirements for building energy autonomy amidst high energy prices and infrastructural risks, which is particularly important for Ukraine. The study aims to systematize advanced engineering solutions that allow bringing the operational performance of real estate closer to Nearly Zero-Energy Building (NZEB) standards. The article examines the evolution of renewable energy technologies, particularly photovoltaic (PV) systems. The authors highlight the increasing efficiency of modern monocrystalline modules and the reduction in the Levelized Cost of Electricity (LCOE), and also analyse the potential of Building-Integrated Photovoltaics (BIPV). Significant attention is paid to heat pump technologies as a key tool for decarbonizing heating and domestic hot water systems. A comparative analysis of the efficiency of air-source and geothermal heat pumps is provided. The advantages of the trend towards more frequent installation of air-to-air heat pumps for small architectural forms (MAFs) are noted. For the commercial real estate sector, the study investigates the benefits of implementing Variable Refrigerant Volume/Flow (VRV/VRF) systems and inverter chillers with heat recovery functions. It is noted that modern VRV systems and chillers demonstrate high seasonal energy efficiency ratings and ensure microclimate flexibility due to their capability for simultaneous heating and cooling. The role of supply and exhaust ventilation units with high-efficiency heat recovery in reducing ventilation heat losses is also highlighted. The conclusion is drawn that integrating the discussed equipment, despite higher initial investments, is an indispensable path to improving the energy efficiency class of buildings and ensuring their resilience to modern energy challenges.

Keywords: energy consumption, climate equipment, project, building management, efficiency.

УДК 621.873

Ю. В. Човнюк

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0608-0203>

кафедра фізичного виховання і спорту

Київський Національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31,
м. Київ, Україна

П. П. Чередніченко*

доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-661X>

кафедра міського будівництва

Київський Національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31,
м. Київ, Україна

О. П. Остапушенко

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8114-349X>

кафедра електротехніки та електроприводу

Київський Національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31,
м. Київ, Україна

І. М. Кравченко

асистент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7077-1546>

кафедра електротехніки та електроприводу

Київський Національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31,
м. Київ, Україна

А. О. Задорожний

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1031-0585>

кафедра кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки

Військовий інститут танкових військ НТУ «Харківський політехнічний інститут», вул.
Кирпичова, 2, м. Харків, Україна

*автор-кореспондент, e-mail: petro_che@ukr.net

Аналіз коливань (вібрації) конструктивних елементів вантажопідйомних механізмів і машин

Цитувати як:

Човнюк, Ю.В., Чередніченко, П. П., Остапушенко, О. П., Кравченко, І. М., Задорожний, А.О.
(2025). Аналіз коливань (вібрації) конструктивних елементів вантажопідйомних механізмів і
машин. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 621-650.
[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-53](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-53)

© 2025, Човнюк, Ю.В., Чередніченко, П. П., Остапушенко, О. П., Кравченко, І. М., Задорожний,
А.О.

Переміщення вантажу вантажопідйомними механізмами і машинами, які використовуються у містобудуванні, наприклад, мостовими кранами (МК) з нежорсткими канатними підвісами вантажу викликає маятникові коливання вантажу, у котрих присутня некерована компонента. Коливання суттєво збільшують тривалість циклу таких МК, знижують продуктивність та безпеку робіт. Зростає небезпека зитовхування вантажу з об'єктами, присутніми у зоні переміщень, при цьому імовірними є псування/руйнування вантажу, інших об'єктів і самого МК. У зв'язку з цим доцільно повністю придушити некеровані компоненти маятникових коливань вантажу як при його переміщенні, так і при досягненні вантажем цільової точки. Особливо це актуально при переміщенні небезпечних

вантажів: смностей з рідкими матеріалами (типу смоли), горючими рідинами та ін.

При роботі МК та інших типів будівельних/вантажопідйомних кранів внаслідок розгойдування вантажу на канаті виникають значні динамічні навантаження. У даній роботі здійснений аналіз закономірностей процесу коливань вантажу на основі двомасової моделі з урахуванням впливу початкових умов на можливі значення динамічних навантажень, а також з'ясована можливість оптимізації (мінімізації) цих навантажень. Наведений огляд наявних довідкових та нормативних матеріалів, котрі визначають нормативні значення коефіцієнтів динамічності. Отримані у роботі результати можуть бути у подальшому використані для виконання динамічних розрахунків, їх вдосконалення та уточнення, при проектуванні та інженерних розробках скінченно-елементних моделей консольних стріл з вантажем на канаті й без канату при розгоні/гальмуванні у процесі повороту стрілі задля обґрунтування коефіцієнтів динамічності конкретних конструкцій МК та містобудівельних кранів інших типів.

Ключові слова: аналіз, коливання, вібрації, навантаження, канатні системи, маятникові коливання вантажів, містобудівельні та мостові крани,

Постановка проблеми

Переміщення вантажів містобудівельними, зокрема, мостовими кранами (МК) (як, до речі, й іншими типами будівельних кранів) з нежорстким канатним підвісом вантажу, у яких присутня некерована компонента, спряжені з неминучим виникненням небажаних коливань вантажу на канаті. Коливання суттєво збільшують тривалість циклу кранів, знижують їх продуктивність та безпеку робіт [1-3]. При цьому також зростає небезпека зіштовхувань вантажу з об'єктами, які присутні у зоні переміщень, причому імовірні також пошкодження вантажу, інших об'єктів і самого крану. У зв'язку з цим доцільним є повне усунення некерованої компоненти маятникових коливань вантажу як при його переміщенні, так і при досягненні вантажем цільової точки [4]. Особливо це є актуальним при переміщенні небезпечних вантажів: смностей з рідкими матеріалами (смола), горючими рідинами та ін.

Зрозуміло, що слід перш за все проаналізувати закономірності процесу коливань вантажу на канаті на основі спрощених моделей (наприклад, у межах двомасової моделі) із урахуванням початкових умов й встановити можливі значення виникаючих динамічних навантажень (у канаті). По-друге, необхідно встановити умови й визначити закономірності руху вантажу й приводної системи, за яких вказані динамічні навантаження канатної системи мінімізуються, зокрема, й коефіцієнти динамічності при пуску/гальмуванні механізмів підйому вантажу МК.

Аналіз публікацій по темі дослідження

Динамічні навантаження при коливаннях вантажу на канаті (МК, зокрема) вивчалися у багатьох роботах [1-3]. Проте оптимізація вказаних

навантажень відомими у літературі методами [4-20] не була проведена. У даній роботі ця проблема, на думку авторів дослідження, вирішена.

Мета дослідження

Мета роботи полягає у обґрунтуванні фізико-механічної та математичної моделей аналізу, синтезу та оптимізації режимів руху містобудівельних кранів (конструктивних елементів вантажопідйомних машин і механізмів) у період їх пуску, при яких нівелюються маятникові коливання вантажу на канаті й практично мінімізуються динамічні навантаження у пружних елементах (канатах) вказаних машин і механізмів кранів.

Виклад основного змісту дослідження

При оцінці динамічного навантаження на вантажозахоплюючі пристрої слід прийняти до уваги наступне: в умовах нормальної експлуатації важливого значення набуває, головним чином, тільки вертикальне динамічне навантаження при роботі механізму підйому вантажу, оскільки при роботі механізмів пересування крану й обертання його поворотної частини воно не перевищує (5 ... 6)% статичного [1,2].

Розрізняють два варіанти підйому вантажу: «з ваги» й «з підхватом». У першому варіанті припускають, що вантаж вже знаходиться на деякій (невеликій) висоті над основою і статичне навантаження, яке діє на вантажозахоплюючі пристрої, дорівнює вазі вантажу Q_v . Динамічне навантаження $P_{дин}$ виникає у початковий момент гальмування вантажу, який спускається, при вмиканні.

У другому варіанті навантаження припускають, що вантаж лежить на будь-якій основі, канати провисають і, відповідно, у цей момент навантаження на вантажозахоплюючі пристрої дорівнює нулю.

У обох випадках динамічний коефіцієнт визначається залежністю:

$$K_{дин} = 1 + P_{дин} / Q_v, \quad (1)$$

де: $P_{дин}$ – у першому випадку є функцією надлишкової рушійної сили та жорсткості опорної конструкції й у другому – функцією швидкості канату та жорсткості опорної конструкції.

При розрахунку у випадку навантаження за першого варіанту кран моделюється двомасовою коливною системою. У даній системі жорсткості канатів та конструкції крану C_K замінюються приведеною жорсткістю C_{II} , а сама система складається з двох мас – m_p (маса ротору двигуна й приведених до нього мас елементів механізму підйому) та m_g (маса вантажу), пов'язаних між собою жорсткістю C :

$$C_{\Pi} = \frac{C \cdot C_K}{(C + C_K)}. \quad (2)$$

При переміщеннях x_p маси m_p та x_{ϵ} маси m_{ϵ} кінетична й потенціальна енергія відповідно складають:

$$\begin{cases} K = \left(\frac{m_p}{2}\right) \cdot \dot{x}_p^2 + \left(\frac{m_{\epsilon}}{2}\right) \cdot \dot{x}_{\epsilon}^2; \\ \Pi = C \cdot \left[(x_p - x_{\epsilon})^2 / 2\right]. \end{cases} \quad (3)$$

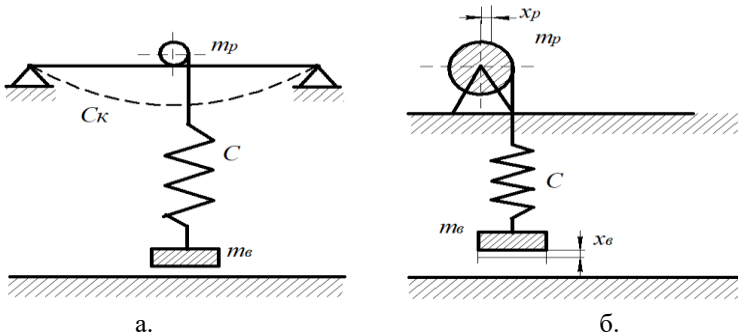


Рис.1.Схема динамічного навантаження вантажного пристрою при підйомі вантажу “з ваги»: а) на мостовому крані; б) розрахункова схема.

Для маси m_p рушійною силою є вага вантажу Q_{ϵ} ($Q_{\epsilon} = m_{\epsilon} \cdot g$, g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$), а також надлишкова сила двигуна $T_{\text{надл.}}$; для маси m_{ϵ} – вага вантажу Q_{ϵ} , діюча у тому ж напрямку, що й сила інерції вантажу при підйомі.

У кранах з приводом механізму підйому вантажу від двигуна трифазного струму надлишкову силу $T_{\text{надл.}}$ можна вважати постійною (при інших законах зміни рушійної сили, а відповідно й надлишкової, динамічність процесу підйому буде меншою) [1].

Рівняння руху мають вигляд:

$$\begin{cases} m_p \cdot \ddot{x}_p + C(x_p - x_{\epsilon}) = Q_{\epsilon} + T_{\text{надл.}}; \\ m_{\epsilon} \cdot \ddot{x}_{\epsilon} + C(x_p - x_{\epsilon}) = -Q_{\epsilon}, \end{cases} \quad (4)$$

де $(x_p - x_{\epsilon})$ – у подальшому позначаємо через ξ . Тоді:

$$\dot{\xi} = (\dot{x}_p - \dot{x}_{\epsilon}); \quad \ddot{\xi} = (\ddot{x}_p - \ddot{x}_{\epsilon}). \quad (5)$$

У нових позначеннях (ξ) та (5) замість (4) маємо:

$$\begin{cases} m_p \cdot \ddot{x}_p + C\xi = Q_e + T_{\text{надл.}}; \\ m_e \cdot \ddot{x}_e - C\xi = -Q_e. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \ddot{x}_p + \frac{C}{m_p} \cdot \xi = \frac{Q_e + T_{\text{надл.}}}{m_p}; \\ \ddot{x}_e - \frac{C}{m_e} \cdot \xi = -\frac{Q_e}{m_e}. \end{cases} \quad (6)$$

Після віднімання від першого рівняння системи (6) другого рівняння цієї ж системи отримаємо звичайне диференціальне рівняння (неоднорідне) для ξ :

$$\ddot{\xi} + \Omega^2 \xi = \frac{Q_e + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_e}{m_e}, \quad \Omega^2 = C \cdot \left(\frac{1}{m_p} + \frac{1}{m_e} \right). \quad (7)$$

Будемо для випадку підйому вантажу «з ваги» використовувати для розв'язку (7) наступні початкові умови:

$$\xi|_{t=0} = \frac{Q_e}{C}; \quad \dot{\xi}|_{t=0} = 0. \quad (8)$$

Загальний розв'язок (7) шукаємо у вигляді:

$$\xi(t) = A_1 \cos \Omega t + A_2 \sin \Omega t + \frac{1}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_e + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_e}{m_e} \right]. \quad (9)$$

Враховуючи умови (8), з (9) маємо:

$$A_1 = \frac{Q_e}{C} - \frac{1}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_e + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_e}{m_e} \right]; \quad A_2 = 0. \quad (10)$$

Тоді розв'язок $\xi(t)$ (9) подаємо наступним чином:

$$\xi(t) = \left\{ \frac{Q_e}{C} \right\} \cos \Omega t + \frac{1}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_e + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_e}{m_e} \right] \cdot (1 - \cos \Omega t). \quad (11)$$

Подано (11) у більш зручному вигляді для аналізу:

$$\xi(t) = \left\{ \frac{Q_e}{C} \right\} \cos \Omega t + \frac{2}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_e + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_e}{m_e} \right] \cdot \sin^2 \left(\frac{\Omega t}{2} \right). \quad (12)$$

Зусилля у пружному елементі (у пружній ланці), яке можна вважати впливом вантажу на вантажозахоплюючі пристрої:

$$P_{B.3.} = C\xi = Q_e \cos \Omega t + \frac{2C}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_e + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_e}{m_e} \right] \cdot \sin^2 \left(\frac{\Omega t}{2} \right). \quad (13)$$

Його величина змінна і є функцією жорсткості системи C та часу t .
 Максимальне значення зусилля у пружній ланці $P_{B.3.\max}$ має місце при:

$$\cos \Omega t = -1 \Rightarrow \Omega t = (2n-1)\pi, \quad n \in N, \quad (14)$$

тобто у моменти часу:

$$t^* = \frac{(2n-1)\pi}{\Omega}, \quad n \in N, \quad (15)$$

$$\begin{cases} P_{B.3.\max} = \left\{ \frac{2}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_\phi + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_\phi}{m_\phi} \right] - \frac{Q_\phi}{C} \right\} \cdot C = \frac{2C}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_\phi + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_\phi}{m_\phi} \right] - Q_\phi = \\ = \frac{2C \cdot m_p \cdot m_\phi}{C(m_p + m_\phi)} \cdot \left[\frac{Q_\phi + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_\phi}{m_\phi} \right] - Q_\phi = \frac{2m_\phi}{(m_p + m_\phi)} \cdot (Q_\phi + T_{\text{надл.}}) + \frac{2m_p}{(m_p + m_\phi)} \cdot Q_\phi - Q_\phi = \\ = 2Q_\phi + \frac{2m_\phi}{(m_p + m_\phi)} \cdot T_{\text{надл.}} - Q_\phi = Q_\phi + \frac{2m_\phi}{(m_p + m_\phi)} \cdot T_{\text{надл.}}. \end{cases} \quad (16)$$

Оскільки надлишкове зусилля $T_{\text{надл.}} = \varphi \cdot Q_\phi$ (де φ – коефіцієнт пропорційності [1]), тоді:

$$P_{B.3.} = Q_\phi + 2\varphi \cdot Q_\phi \cdot \frac{m_\phi}{(m_\phi + m_p)} = Q_\phi \cdot \left\{ 1 + 2\varphi \cdot \frac{m_\phi}{(m_\phi + m_p)} \right\}, \quad (17)$$

а коефіцієнт динамічності має вигляд:

$$K_\phi = \frac{P_{B.3.}}{Q_\phi} = 1 + 2\varphi \cdot \left[\frac{m_\phi}{m_\phi + m_p} \right] = 1 + \frac{2m_\phi}{(m_p + m_\phi)} \cdot \frac{T_{\text{надл.}}}{Q_\phi}, \quad (18)$$

при $t = t^*$.

Останній коефіцієнт (K_ϕ) характеризує динамічність навантаження вантажозахоплюючого пристрою за умови, що підйом починається у момент, коли на канати діє вага вантажу Q_ϕ .

При визначенні динамічного навантаження маси m_p та m_ϕ відносять до периферії барабану, причому масу m_ϕ визначають пропорційною квадрату відношення числа гілок вантажного поліспада, які навиті (чи навиваються) на барабан, до загального числа гілок, на котрих висить вантаж [1].

Для встановлення залежності $K_\phi(t)$ маємо наступне співвідношення:

$$\begin{aligned}
 K_{\partial}(t) &= \frac{1 \cdot C}{Q_{\partial}} \cdot \left\{ \frac{Q_{\partial}}{C} \cos \Omega t + \frac{1}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_{\partial} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_{\partial}}{m_{\partial}} \right] \cdot (1 - \cos \Omega t) \right\} = \\
 &= K_{\partial}(t) = \left\{ \cos \Omega t + \frac{C}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{1 + T_{\text{надл.}}/Q_{\partial}}{m_p} + \frac{1}{m_{\partial}} \right] \cdot (1 - \cos \Omega t) \right\} = \\
 &= K_{\partial}(t) = 1 + \frac{m_{\partial}}{(m_p + m_{\partial})} \cdot \frac{T_{\text{надл.}}}{Q_{\partial}} \cdot (1 - \cos \Omega t).
 \end{aligned} \tag{19}$$

Подано останній вираз у більш зручній формі:

$$K_{\partial}(t) = 1 + \frac{m_{\partial}}{(m_p + m_{\partial})} \cdot \frac{T_{\text{надл.}}}{Q_{\partial}} \cdot 2 \cdot \sin^2 \left(\frac{\Omega t}{2} \right). \tag{20}$$

При $\frac{\Omega t}{2} = (2n_1 - 1) \cdot \frac{\pi}{2}$, $n_1 \in N$, тобто, при:

$$t^{**} = \frac{(2n_1 - 1) \cdot \pi}{\Omega}, \quad n_1 \in N, \tag{21}$$

$$K_{\partial \max} = 1 + \frac{2 \cdot T_{\text{надл.}} \cdot m_{\partial}}{Q_{\partial} \cdot (m_p + m_{\partial})}. \tag{22}$$

Графік залежності (20) поданий на рис.2.

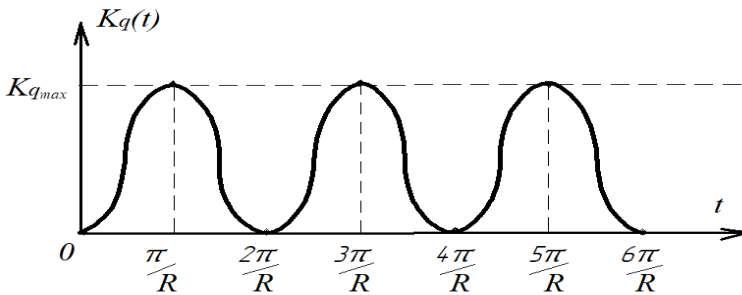


Рис.2. Залежність $K_{\partial}(t)$ при підйомі вантажу мостовим краном «з ваги»

На рис.2 введені позначення:

$$K_{\partial \max} = 1 + \frac{2T_{\text{надл.}} \cdot m_{\partial}}{(m_p + m_{\partial})}. \tag{21^*}$$

При гальмуванні вантажу, який спускається, $P_{\text{дин}}$ та коефіцієнт динамічності K_{∂} визначають за формулами (13)-(18), а $K_{\partial}(t)$ – за

формулами (19)-(22), (21^{*}). При цьому під $T_{\text{надл.}}$ розуміємо наступну різницю:

$$T_{\text{надл.}} = T_{\text{гальм.}} - Q_{\text{в}}, \quad (23)$$

де: $T_{\text{гальм.}}$ – гальмівне зусилля, приведене до вантажу.

Оскільки момент, який створюється гальмами, зазвичай менше максимального моменту [1,2], що створюється двигуном, тоді динамічне зусилля при гальмуванні вантажу, який спускається, не перевищує динамічного зусилля, яке виникає при підйомі вантажу «з ваги».

Визначимо далі закони руху мас m_p та $m_{\text{в}}$, виходячи з рівнянь системи (4), (6), (7) та закону $\xi(t)$ (11), (12) за наступних (ненульових) початкових умов (при підйомі «з ваги»:

$$x_{\text{в}}|_{t=0} = 0; \quad \dot{x}_{\text{в}}|_{t=0} = 0; \quad x_p|_{t=0} = x_{\text{в}}|_{t=0} + \frac{Q_{\text{в}}}{C} = \frac{Q_{\text{в}}}{C}; \quad \dot{x}_p|_{t=0} = 0. \quad (24)$$

З системи (6) для x_p маємо:

$$\ddot{x}_p + \frac{C}{m_p} \cdot \xi(t) = \frac{Q_{\text{в}} + T_{\text{надл.}}}{m_p}. \quad (25)$$

З системи (6) для $x_{\text{в}}$ маємо:

$$\ddot{x}_{\text{в}} + g = \frac{C}{m_{\text{в}}} \cdot \xi(t). \quad (26)$$

Рівняння (25) та (26) треба розв'язати за початкових умов (24). Знаючи $\xi(t)$ (11) і двічі інтегруючи по t кожне з рівнянь (25) та (26), матимемо:

$$x_p(t) = \frac{2m_{\text{в}}^2 \cdot T_{\text{надл.}}}{C \cdot (m_p + m_{\text{в}})^2} \cdot \sin^2\left(\frac{\Omega t}{2}\right) + \frac{(Q_{\text{в}} + T_{\text{надл.}})}{2m_p} \cdot t^2 + \frac{Q_{\text{в}}}{C}. \quad (27)$$

$$x_{\text{в}}(t) = -\frac{2m_p \cdot m_{\text{в}} \cdot T_{\text{надл.}}}{C \cdot (m_p + m_{\text{в}})^2} \cdot \sin^2\left(\frac{\Omega t}{2}\right) + \frac{T_{\text{надл.}}}{(m_p + m_{\text{в}})} \cdot \frac{t^2}{2}. \quad (28)$$

З (27) й (28) чітко видно, що у маси $m_{\text{в}}$ та у маси m_p наявні коливання, частота котрих Ω .

Визначимо умови та режими руху $\xi(t)$, $x_e(t)$, $x_p(t)$, за яких у період розгону системи (до набуття вантажопідйомним механізмом усталеної швидкості підйому/спускання вантажу (V)) відсутні коливні процеси як у маси m_p , так і у маси m_e . Нехай тривалість пуску системи, протягом якої встановлюється усталений режим підйому вантажу, тобто швидкість підйому стає сталою величиною й дорівнює V , складає τ_n . Тоді рух, за якого координата $\xi(t)$ задовольняє критерію якості руху:

$$\left\{ \frac{1}{\tau_n} \cdot \int_0^{\tau_n} (\xi(t))^2 dt \right\}^{1/2} \Rightarrow \min, \quad (29)$$

і буде шуканим рухом мас m_p та m_e системи. Необхідною умовою реалізації критерію (29) є рівняння Ейлера-Пуассона, яке можна отримати, замінюючи у підінтегральному виразі (29) $\xi(t)$ на вираз (згідно (7)):

$$\xi(t) = \frac{1}{\Omega^2} \cdot \left\{ \frac{Q_e + T_{надл.}}{m_p} + \frac{Q_e}{m_e} - \ddot{\xi} \right\}, \quad (30)$$

тоді вказане рівняння (Ейлера-Пуассона) для (29), (30) набуває вигляду:

$$\dot{\xi}^{(IV)} = 0. \quad (31)$$

Будемо розшукувати розв'язок (31) у вигляді сплайну третього порядку по t :

$$\xi = a_1 + a_2 t + a_3 t^2 + a_4 t^3. \quad (32)$$

Щоб знайти невизначені константи a_i , $i = \overline{1, 4}$, використаємо наступні умови (термінальні):

$$\xi|_{t=0} = \frac{Q_e}{C}; \quad \dot{\xi}|_{t=0} = 0; \quad \ddot{\xi}|_{t=0} = \left\{ \frac{(Q_e + T_{надл.})}{m_p} + \frac{Q_e}{m_e} \right\} - \Omega^2 \cdot \xi|_{t=0} = \frac{Q_e + T_{надл.}}{m_p} + g^*, \quad (33)$$

$$\text{де: } g^* = g - \Omega^2 \cdot \frac{Q_e}{C}.$$

Остання (термінальна) умова має вигляд:

$$\dot{\xi}|_{t=\tau_n} = 0. \quad (34)$$

Диференціюючи по t відповідну кількість разів вираз (32) та використовуючи умови (33), (34), матимемо:

$$a_1 = \frac{Q_\epsilon}{C}; \quad a_2 = 0; \quad 2a_3 = \frac{(Q_\epsilon + T_{\text{надл.}})}{m_p} + g^*; \quad a_4 = -\frac{2a_3}{3\tau_\Pi}. \quad (35)$$

Отже, для того, щоб виконувався критерій якості руху (29) або (30), необхідно, щоб $\xi(t)$ змінювалась з полином часу за наступним законом:

$$\xi(t) = \frac{Q_\epsilon}{C} + \left\{ \frac{Q_\epsilon + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right\} \cdot \frac{t^2}{2} - \left\{ \frac{Q_\epsilon + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right\} \cdot \frac{t^3}{3\tau_\Pi}. \quad (36)$$

Або:

$$\xi(t) = \frac{Q_\epsilon}{C} + \left\{ \frac{Q_\epsilon + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right\} \cdot \left\{ \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3\tau_\Pi} \right\}. \quad (37)$$

Тоді $P_{B.3.}$ приймає вигляд:

$$P_{B.3.} = C \cdot \xi(t) = Q_\epsilon + C \cdot \left\{ \frac{Q_\epsilon + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right\} \cdot \left\{ \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3\tau_\Pi} \right\}. \quad (38)$$

Для $K_\phi(t)$ маємо:

$$K_\phi(t) = \frac{P_{B.3.}(t)}{Q_\epsilon} = 1 + C \cdot \left\{ \frac{1 + T_{\text{надл.}}/Q_\epsilon}{m_p} + \frac{1 \cdot g^*}{m_\epsilon \cdot g} \right\} \cdot \left\{ \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3\tau_\Pi} \right\}. \quad (39)$$

Максимального значення $P_{B.3.}(t)$ (38) та $K_\phi(t)$ (39) набувають у кінці перехідного процесу (пуску) при $t = \tau_\Pi$:

$$(P_{B.3.})_{\max} = Q_\epsilon + C \cdot \left\{ \frac{Q_\epsilon + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right\} \cdot \frac{\tau_\Pi^2}{6}. \quad (40)$$

$$(K_\phi)_{\max} = 1 + C \cdot \left\{ \frac{1 + T_{\text{надл.}}/Q_\epsilon}{m_p} + \frac{1 \cdot g^*}{m_\epsilon \cdot g} \right\} \cdot \frac{\tau_\Pi^2}{6}. \quad (41)$$

Знайдемо закони руху $x_\epsilon(t)$ та $x_p(t)$, які мають маси m_ϵ та m_p при $\xi(t)$ (36), а також задовольняють умовам (термінальним) (24):

$$x_p(t) = \left(-\frac{C}{m_p} \right) \cdot \left\{ \frac{Q_\epsilon}{C} \cdot \frac{t^2}{2} + \left(\frac{Q_\epsilon + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right) \cdot \left(\frac{t^4}{24} - \frac{t^5}{60\tau_\Pi} \right) \right\} + \left(\frac{Q_\epsilon + T_{\text{надл.}}}{m_p} \right) \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{Q_\epsilon}{C}, \quad (42)$$

$$x_{\epsilon}(t) = \left(\frac{C}{m_{\epsilon}} \right) \cdot \left\{ \frac{Q_{\epsilon}}{C} \cdot \frac{t^2}{2} + \left(\frac{Q_{\epsilon} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right) \cdot \left(\frac{t^4}{24} - \frac{t^5}{60\tau_{\Pi}} \right) \right\} - \frac{gt^2}{2}. \quad (43)$$

Використовуючи залежності $\dot{x}_p(t)$ й $\dot{x}_{\epsilon}(t)$ та їх значення у момент $t = \tau_{\Pi}$, а саме: $\dot{x}_p|_{t=\tau_{\Pi}} = \dot{x}_{\epsilon}|_{t=\tau_{\Pi}} = V$, можна знайти значення τ_{Π} й V :

$$\frac{\left(-\frac{C}{m_p} \right) \cdot \left\{ \frac{Q_{\epsilon}}{C} \cdot \tau_{\Pi} + \left(\frac{Q_{\epsilon} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right) \cdot \left(\frac{\tau_{\Pi}^3}{12} \right) \right\} + \left(\frac{Q_{\epsilon} + T_{\text{надл.}}}{m_p} \right) \cdot \tau_{\Pi}}{\left(\frac{C}{m_b} \right) \cdot \left\{ \frac{Q_{\epsilon}}{C} \cdot \tau_{\Pi} + \left(\frac{Q_{\epsilon} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right) \cdot \left(\frac{\tau_{\Pi}^3}{12} \right) \right\} - g\tau_{\Pi}} = 1, \quad (44)$$

звідси маємо:

$$\tau_{\Pi} = \left\{ \frac{12 \cdot \left[\frac{T_{\text{надл.}}}{m_p} \right]}{\Omega^2 \cdot \left(\frac{Q_{\epsilon} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right)} \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (45)$$

Знаючи зі співвідношення (45) τ_{Π} , легко знайти V наступним чином (це значення повинне задовольняти нормам, стандартам, які прийняті для кранових конструкцій і, зрозуміло, не перевищувати їх для конкретних типів навантажень кранів та конкретних типів виконуваних ними робіт щодо обробки вантажів):

$$V = \left\{ C \cdot \left(\frac{1}{m_{\epsilon}} - \frac{1}{m_p} \right) \cdot \left[\frac{Q_{\epsilon}}{C} \cdot \tau_{\Pi} + \left(\frac{Q_{\epsilon} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g^* \right) \cdot \left(\frac{\tau_{\Pi}^3}{12} \right) \right] + \left(\frac{Q_{\epsilon} + T_{\text{надл.}}}{m_p} - g \right) \cdot \tau_{\Pi} \right\} \cdot \frac{1}{2}. \quad (46)$$

Розглянемо числовий приклад.

Приклад. Визначити коефіцієнт динамічності вантажу вантажозахоплюючого пристрою, який підвішений на чотирьох гілках

канату при підйомі вантажу масою $m_{\epsilon} = \frac{Q_{\epsilon}}{g} = 10 \cdot 10^3 = 10^4$ кг (вагою

$Q_{\epsilon} = 9,81 \cdot 10^4$ Н=98,1 кН) «з ваги» зі швидкістю $v_{\epsilon} = 30$ м/хв=0,5 м/с.

Режим роботи крана – середній. При вазі q вантажозахоплюючого пристрою, яка дорівнює 5% від ваги вантажу ($q = 4905$ Н=4,905 кН), натяг гілки канату, яка навивається на барабан, з урахуванням ККД поліспасти

η_{Π} визначається наступним чином ($\eta_{\Pi} = 95\%$):

$$S_{\sigma} = 1,05 \cdot Q_{\sigma} / (4 \cdot \eta_{\Pi}) = 1,05 \cdot 98100 / (4 \cdot 0,95) \approx 27107 \text{ Н.}$$

При коефіцієнті запасу міцності $n_k = 5,5$ можна застосувати канат за ДГСТ 2688-80* діаметром $d_k = 16,5 \text{ мм} = 16,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ за межею міцності матеріалу дроту $\sigma_B = 1700 \text{ МПа} = 1,7 \cdot 10^9 \text{ Па}$. Діаметр барабану можна прийняти $D_{\sigma} \approx 30d_k \approx 495 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Необхідна швидкість канату при одинарному поліспасті та його кратності $u_n = 4$ складає:

$$v_k = v_{\sigma} \cdot u_{\Pi} = 0,5 \text{ м/с} \cdot 4 = 2 \text{ м/с} = 120 \text{ м/хв.}$$

Необхідна частота обертання барабану складає:

$$n_{\sigma} = v_k / (\pi \cdot D_{\sigma}) = 2 / (3,14 \cdot 495 \cdot 10^{-3}) \approx 1,29 \text{ об/с} = 77,4 \text{ об/хв.}$$

Необхідна потужність двигуна при ККД механізму $\eta_M = 0,9$ складе:

$$N = S_{\sigma} \cdot v_k / \eta_M = 27107 \cdot 2 / 0,9 \approx 60238 \text{ Вт} = 60,238 \text{ кВт.}$$

Можна застосувати двигун типу МТП-612-10 потужністю $N = 60 \text{ кВт}$ при тривалості вмикання 25% й частоті обертання валу $n_{\partial\sigma} = 572 \text{ об/хв} \approx 59,90 \text{ 1/с}$

$= 9,53 \text{ об/с}$. Момент інерції ротора $I_p = 5,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Необхідне передатне число механізму:

$$u_M = n_{\partial\sigma} / n_{\sigma} = 572 / 77,4 = 9,53 / 1,29 \approx 7,4.$$

Момент інерції ротора двигуна та інших частин механізму, які обертаються, що враховується коефіцієнтом 1,25, приведений до валу барабана:

$$I_M = 1,25 \cdot I_p \cdot u_M^2 = 1,25 \cdot 5,25 \cdot 7,4^2 \approx 359 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Маса, приведена до периферії барабану радіусом $R_{\sigma} = 0,25 \text{ м}$, складає:

$$m_p = I_M \cdot \omega^2 / v^2 = I_M / R_{\sigma}^2 = 359 / 0,25^2 = 5744 \text{ кг.}$$

Маса вантажу, віднесена до периферії барабану:

$$\tilde{m}_{\sigma} = m_{\sigma} / u_{\Pi}^2 = 10000 / 4^2 = 625 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт

$$\tilde{m}_{\sigma} / (m_p + \tilde{m}_{\sigma}) = 625 / (625 + 5744) \approx 0,098.$$

Для двигуна МТП-612-10 кратність максимального моменту дорівнює 2,8, а $\varphi = 2,8 - 1 = 1,8$.

Максимальний коефіцієнт динамічності (за звичайного/неоптимального режиму руху канату) складає:

$$(K_{\delta})_{\max} = 1 + 2\varphi \cdot \left[\tilde{m}_e / (\tilde{m}_e + m_p) \right] = 1 + 2 \cdot 1,8 \cdot 0,098 \approx 1,353.$$

При збільшенні швидкості підйому коефіцієнт динамічності різко зростає. Так, якщо для умов прикладу, що розглядається, прийняти швидкість підйому у 2 рази більшою, тобто не 30 м/хв = 0,5 м/с, а 60 м/хв = 1 м/с, тоді $V'_k = 240$ м/хв = 4 м/с; $n'_o = 77,4 \cdot 2$ об/хв = 154,8 об/хв; $N' = 120$ кВт. Можна застосувати двигун типу МТП-712-12 потужністю $N'_{o\delta} = 125$ кВт, при тривалості вмикання 25% та частоті обертання валу $n'_{o\delta} = 587$ об/хв $\approx 9,78$ об/с.

Момент інерції ротора $I_p = 12,75$ кг·м²; $\Phi = 1,8$. Тоді:

$$u'_m = n'_{o\delta} / n'_o = 587 / 154,8 = 3,79; \quad I'_m = 1,25 \cdot 12,75 \cdot 3,79^2 = 228,93 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$m'_p = I'_m / R_o^2 = 228,93 / 0,25^2 = 3662,9 \text{ кг}.$$

$$\tilde{m}'_e = 625 \text{ кг}; \quad \tilde{m}'_e / (\tilde{m}_e + m'_p) = 625 / (625 + 3662,9) \approx 0,146.$$

Коефіцієнт динамічності (максимальний):

$$(K'_{\delta})_{\max} = 1 + 2 \cdot 1,8 \cdot 0,146 \approx 1,526.$$

$$(K'_{\delta})_{\max} > (K_{\delta})_{\max}, \text{ оскільки } 1,526 > 1,353.$$

Отже, така динамічність підйому вантажу (зростаюча) може мати місце при приводі механізму від короткозамкненого двигуна за відсутності затухання у системі й при умові $\cos \Omega t = -1$. При системах розгону з поступовим зростанням швидкості, тобто з більшим часом/тривалістю перехідних процесів, коефіцієнт K_{δ} буде меншим. При обранні системи приводу механізму підйому це слід враховувати.

Для випадку підйому вантажу «з основи»/«з підхватом» слід використовувати для розв'язку (7) наступні початкові умови:

$$\xi|_{t=0} = 0; \quad \dot{\xi}|_{t=0} = v_0,$$

де: v_0 – початкова швидкість усталеного руху системи у процесі підйому вантажу. Для визначення величини v_0 можна використати наступні міркування.

Коли вантаж вагою $Q_6 = m_6 \cdot g$ лежить на основі, то деформує останню і величина переміщення $\tilde{x}_{\Pi}$ основи внаслідок дії на неї сили Q_6 складе: $\tilde{x}_{\Pi} = Q_6 / C_{\text{основи}}$, де $C_{\text{основи}}$ – коефіцієнт жорсткості основи. При відриві вантажу у цьому способі його підйому краном уся потенціальна енергія, яку має вантаж внаслідок взаємодії з основою та її деформації переходить (у зв'язку з наявністю закону збереження енергії у механіці) у кінетичну енергію руху вантажу з початковою швидкістю v_0 . Тому маємо наступне співвідношення:

$$\frac{C_{\text{основи}} \cdot \tilde{x}_{\Pi}^2}{2} = \frac{m_6 \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{m_6 \cdot g^2}{C_{\text{основи}}}} = \sqrt{\frac{Q_6 \cdot g}{C_{\text{основи}}}}. \quad (48)$$

Загальний розв'язок (7) шукаємо у вигляді (9), але, враховуючи тепер умови (47), матимемо:

$$A_1 = -\frac{1}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_6 + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_6}{m_6} \right]; \quad A_2 = \frac{v_0}{\Omega}. \quad (49)$$

Тоді розв'язок $\xi(t)$ (9) подаємо наступним чином:

$$\xi(t) = \frac{2}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_6 + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_6}{m_6} \right] \cdot \sin^2\left(\frac{\Omega t}{2}\right) + \frac{v_0}{\Omega} \cdot \sin \Omega t. \quad (50)$$

Зусилля у пружному елементі/каналі, яке тепер можна вважати впливом вантажу на вантажозахоплюючі пристрої, складе:

$$P_{B.3.} = C \cdot \xi = \frac{2C}{\Omega^2} \cdot \left[\frac{Q_6 + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_6}{m_6} \right] \cdot \sin^2\left(\frac{\Omega t}{2}\right) + \frac{C \cdot v_0}{\Omega} \cdot \sin \Omega t. \quad (51)$$

Використовуючи співвідношення елементарної тригонометрії, можна (51) подати наступним чином:

$$P_{B.3.}(t) = \frac{2C}{\Omega^2} \cdot \sin\left(\frac{\Omega t}{2}\right) \cdot \left\{ \frac{\left[\frac{Q_6 + T_{\text{надл.}}}{m_p} + \frac{Q_6}{m_6} \right]}{\Omega} + v_0 \cdot \cos\left(\frac{\Omega t}{2}\right) \right\}. \quad (52)$$

Аналіз співвідношень (50)-(52) показує, що у даному варіанті підйому вантажу («з підхватом») у моменти часу t^* (15) значення $P_{B.3.\text{max}}$ ще більше, ніж у випадку підйому вантажу «з ваги», оскільки тепер:

$$P_{B.3.\text{max}}(t) \Big|_{t=t^*} = 2Q_6 + \frac{2m_6}{(m_p + m_6)} \cdot T_{\text{надл.}}. \quad (53)$$

Враховуючи міркування, наведені вище для (17), (18), тепер маємо, що коефіцієнт динамічності набуває вигляду:

$$K_{\partial}|_{t=t^*} = 2 + \frac{2m_{\partial}}{(m_p + m_{\partial})} \cdot \frac{T_{\text{надл.}}}{Q_{\partial}}. \quad (54)$$

Отже, при підйомі вантажу «з основи»/«з підхватом» величина K_{∂} у певні моменти часу (t^*) набуває ще більших значень, ніж за підйому «з ваги».

Визначимо тепер закон руху $\xi(t)$, який задовольняє критерію якості (29), але за способу підйому «з основи»/«з підхватом».

Повторюючи наведений вище алгоритм для способу підйому вантажу «з ваги» маємо наступні результати.

Знову $\xi(t)$ розшукуємо у вигляді (32), оскільки $\xi(t)$ повинне задовольняти (31). Але тепер змінюються початкові і кінцеві умови, тобто замість (33) маємо:

$$\xi|_{t=0} = 0; \quad \dot{\xi}|_{t=0} = v_0; \quad \ddot{\xi}|_{t=0} = \left\{ \frac{Q_{\partial} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g \right\}; \quad \dot{\xi}|_{t=\tau_n} = 0. \quad (55)$$

Тоді для коефіцієнтів сплайну по t функції $\xi(t)$ (32) маємо:

$$a_1 = 0; \quad a_2 = v_0; \quad 2a_3 = \frac{Q_{\partial} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g; \quad a_4 = -\frac{2a_3}{3\tau_n}. \quad (56)$$

Отже, для того, щоб виконувався критерій якості руху (29), (30), необхідно, щоб $\xi(t)$ задовольняла наступному закону зміни з полином часу t :

$$\xi(t) = v_0 t + \left\{ \frac{Q_{\partial} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g \right\} \cdot \left\{ \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3\tau_n} \right\}. \quad (57)$$

Тоді $P_{B.3.}$ приймає вигляд:

$$P_{B.3.}(t) = C \cdot \xi(t) = C \cdot v_0 t + C \cdot \left\{ \frac{Q_{\partial} + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g \right\} \cdot \left\{ \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3\tau_n} \right\}. \quad (58)$$

Для $K_{\partial}(t)$ маємо:

$$K_{\partial}(t) = \frac{P_{B.3.}^{(\text{повне})}}{Q_{\partial}} = \frac{Q_{\partial} + P_{B.3.}(t)}{Q_{\partial}} = 1 + \frac{P_{B.3.}(t)}{Q_{\partial}}, \quad (59)$$

де $P_{B.3.}^{(повне)}$ – повне силове навантаження вантажозахоплюючого пристрою: $P_{B.3.}^{(повне)} = Q_e + P_{B.3.}(t)$, або:

$$K_o(t) = 1 + \frac{Cv_0t}{Q_e} + \frac{C}{Q_e} \cdot \left\{ \frac{Q_e + T_{надл.}}{m_p} + g \right\} \cdot \left\{ \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3\tau_{\Pi}} \right\}. \quad (60)$$

Максимального значення цей коефіцієнт набуває у момент $t = \tau_{\Pi}$:

$$\left\{ K_o(t) \right|_{t=\tau_{\Pi}} \} = K_o(\tau_{\Pi}) = K_{o\max} = 1 + \frac{Cv_0\tau_{\Pi}}{Q_e} + \frac{C}{Q_e} \cdot \left\{ \frac{Q_e + T_{надл.}}{m_p} + g \right\} \cdot \frac{\tau_{\Pi}^2}{6}. \quad (61)$$

З (60) чітко видно, що у цьому випадку $K_o(t)$ менше, ніж за закону руху $\xi(t)$ (50). Останній, до того ж, призводить до небажаних коливань вантажу на канаті. Для $\xi(t)$ (57,1) подібні коливання відсутні.

Визначимо далі закони руху $x_p(t)$, $x_e(t)$. Задля цього знову використовуємо закони та рівняння (25), (26) й початкові умови:

$$x_e|_{t=0} = 0; \quad \dot{x}_e|_{t=0} = 0; \quad \dot{x}_p|_{t=0} = v_0; \quad x_p|_{t=0} = 0. \quad (62)$$

Для $\ddot{x}_p(t)$ маємо рівняння (25), яке треба розв'язати за умов (62) при $\xi(t)$ (57). Маємо:

$$x_p(t) = \left(-\frac{C}{m_p} \right) \cdot \left\{ \frac{v_0 \cdot t^3}{6} + \left(\frac{Q_e + T_{надл.}}{m_p} + g \right) \cdot \left(\frac{t^4}{24} - \frac{t^5}{60\tau_{\Pi}} \right) \right\} + \left(\frac{Q_e + T_{надл.}}{m_p} \right) \cdot \frac{t^2}{2} + v_0 t. \quad (63)$$

$$x_e(t) = -\frac{(-gt^2)}{2} \cdot \left(\frac{C}{m_e} \right) \cdot \left\{ \frac{v_0 \cdot t^3}{6} + \left(\frac{Q_e + T_{надл.}}{m_p} + g \right) \cdot \left(\frac{t^4}{24} - \frac{t^5}{60\tau_{\Pi}} \right) \right\}. \quad (64)$$

Оскільки при $t = \tau_{\Pi}$ $\dot{x}_p = \dot{x}_e = V$, де V – усталена швидкість підйому вантажу, можна цю обставину використати для визначення τ_{Π} . Зазвичай величина V задається нормами експлуатації кранових конструкцій певного типу та механізмів підйому вантажу, які при цьому використовуються. Отже, для знаходження τ_{Π} можна використати, наприклад, вираз $x_e(t)$ (64), продиференціювати його по часу t і знайти значення цього останнього виразу при $t = \tau_{\Pi}$. Тоді матимемо:

$$\dot{x}_g(t)\Big|_{t=\tau_{\Pi}} = V \Leftrightarrow (-g\tau_{\Pi}) + \left(\frac{C}{m_g}\right) \cdot \left\{ \frac{v_0 \cdot \tau_{\Pi}^2}{2} + \left(\frac{Q_g + T_{\text{надл.}}}{m_p} + g \right) \cdot \frac{\tau_{\Pi}^3}{12} \right\} = V. \quad (65)$$

Виникає кубічне рівняння (65) відносно τ_{Π} , яке розв'язується за допомогою формул Кардано. Навпаки, якщо величина (τ_{Π}) задана, з (65) легко безпосередніми обчисленнями знайти величину V для конкретного варіанту підйому вантажу «з основи»/«з підхватом».

При розрахунку у випадку навантаження (динамічного) вантажного пристрою крана за підйому вантажу «з підхватом» («з основи») можна використати інші підходи [1]. Зокрема, можна знехтувати жорсткістю одного з елементів (канатів, оскільки пружність металоконструкції крана набагато вище, ніж власне канатів, причому коливання останніх до того ж ще й швидко затухають) і враховувати лише пружність другого елементу жорсткості – конструкції крана, тобто маси крану m_k й вантажу m_g розглядати як одну масу m .

За прийнятих припущень можна вважати, що підйом вантажу здійснюється наступним чином.

На першому етапі, після вмикання двигуна, відбувається вибирання слабину канату, на другому етапі – пружна деформація усіх елементів конструкції (рис.2). Другий етап продовжується до тих пір, поки зусилля P_0 на вантажозахоплюючі пристрої, зростаючи від нуля, не стає рівним $Q_g = m_g \cdot g$. Лише після цього, на третьому етапі, починається підйом вантажу.

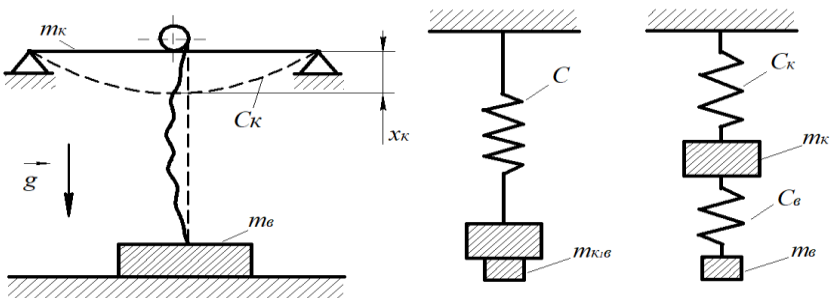


Рис.3. Схема динамічного навантаження вантажного пристрою при підйомі вантажу «з підхватом»:

а) на кранах мостового типу; б,в) розрахункові схеми одно- та двомасової систем.

При переміщенні x_k маси крана m_k з жорсткістю C_k (точніше кранової балки як частини металоконструкції крану) кінетична енергія:

$$W = \tilde{m}_k \cdot \dot{x}_k^2 / 2, \quad \tilde{m}_k = m_e + m_k, \quad (66)$$

а потенціальна енергія:

$$U = C_k \cdot x_k^2 / 2. \quad (67)$$

Рушійною силою тут є сила P , різна для різних етапів підйому вантажу. Рівняння руху системи, яке виникає з рівняння Лагранжа другого роду, має вигляд:

$$(m_e + m_k) \cdot \ddot{x}_k + C_k \cdot x_k = P, \quad (68)$$

його розв'язок має наступний вигляд:

$$x_k = y_{ст} + A \sin pt + B \cos pt, \quad p = \sqrt{\frac{C_k}{(m_k + m_e)}}, \quad (69)$$

за умови, що на початку руху задовольняються наступні співвідношення для $x_k(t)$ й $\dot{x}_k(t)$:

$$y_k = x_k|_{t=0} = y_{ст} = \frac{(m_e + m_k) \cdot g}{C_k}; \quad \dot{x}_k|_{t=0} = V_0, \quad (70)$$

де V_0 – початкова швидкість підйому вантажу, початкове переміщення канату, коли повністю вибраний канат (його слабина ліквідована), $y_{ст}$ – прогин конструкції від статичного навантаження. Після встановлення значень коефіцієнтів A та B маємо:

$$\begin{cases} x_k = y_{ст.} + y_{ст.} \cos pt + \frac{v_0}{p} \sin pt; \\ \dot{x}_k = -p \cdot y_k \sin pt + v_0 \cos pt; \\ \ddot{x}_k = -p^2 \cdot y_k \cos pt - v_0 \cdot p \sin pt. \end{cases} \quad (71)$$

$P_{дин.}$ – динамічне навантаження, діюче на вантажозахоплюючий пристрій, приймає вигляд:

$$P_{дин.} = m_e \cdot \ddot{x}_k = \left(\frac{Q_e}{g} \right) \cdot \{ -p^2 \cdot y_k \cos pt - v_0 p \sin pt \}. \quad (72)$$

Якщо виконується співвідношення: $v_0 = p \cdot y_k$, тоді з (71) маємо:

$$P_{\text{дин.}} = -\left(\frac{Q_{\text{в}}}{g}\right) \cdot v_0 \cdot p \sin pt. \quad (73)$$

Максимального значення $P_{\text{дин.}}$ у цьому випадку набуває при умові:

$$\sin pt = -1. \quad (74)$$

Цей режим і умова реалізуються за високої початкової швидкості підйому вантажу (V_0).

Якщо виконується співвідношення: $v_0 = p \cdot y_{\kappa}$, тоді з (72) маємо:

$$P_{\text{дин.}} = -\left(\frac{Q_{\text{в}}}{g}\right) \cdot p^2 \cdot y_{\kappa} \cos pt. \quad (75)$$

Максимального значення $P_{\text{дин.}}$ у цьому випадку набуває при умові:

$$\cos pt = -1. \quad (76)$$

Цей режим і умова реалізуються за малої початкової швидкості підйому вантажу (V_0).

У загальному випадку (для довільних значень V_0) маємо:

$$\begin{cases} P_{\text{дин.}} = \left\{ -\frac{Q_{\text{в}}}{g} \right\} \cdot \left\{ \sqrt{v_0^2 \cdot p^2 + p^4 \cdot y_{\kappa}^2} \sin(pt + \alpha) \right\} \\ \alpha = \arctg \left\{ \frac{p \cdot y_{\kappa}}{v_0} \right\}. \end{cases}, \quad (77)$$

Максимального значення $P_{\text{дин.}}$, яке дорівнює

$$P_{\text{дин.}}^{(\text{max})} = \frac{Q_{\text{в}}}{g} \cdot \sqrt{v_0^2 \cdot p^2 + p^4 \cdot y_{\kappa}^2} \quad (78)$$

набуває у моменти часу t^* , котрі визначаються зі співвідношення:

$$p \cdot t_n^* + \arctg \left\{ \frac{p \cdot y_{\text{ст}}}{v_0} \right\} = \frac{\pi}{2} (4n - 1), \quad n \in N. \quad (79)$$

Повне навантаження, діюче на вантажозахоплюючий пристрій, має вигляд:

$$\begin{cases} P_{B.3.} = Q_{\epsilon} + P_{\text{дин.}}^{(\max)} = Q_{\epsilon} \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{g} \cdot \sqrt{v_0^2 \cdot p^2 + p^4 \cdot y_{\kappa}^2} \right\}, \\ K_{\delta} = 1 + \frac{1}{g} \cdot \sqrt{v_0^2 \cdot p^2 + p^4 \cdot y_{\kappa}^2}, \end{cases} \quad (80)$$

а при виконанні співвідношення, яке приводить до (73), (74), маємо:

$$P_{B.3.} = Q_{\epsilon} \cdot \left\{ 1 + \frac{v_0}{g} \cdot p \right\} = Q_{\epsilon} \cdot \left\{ 1 + \frac{v_0}{g} \cdot \sqrt{C_{\kappa} / (m_{\kappa} + m_{\epsilon})} \right\}. \quad (81)$$

Оскільки $C_{\kappa} = Q_{\epsilon} / y_{\text{ст}} = \frac{m_{\epsilon} \cdot g}{y_{\text{ст}}}$, тоді з (81) можемо отримати:

$$K_{\text{дин.}} = 1 + \frac{v_0}{g} \cdot \sqrt{\frac{C_{\kappa}}{(m_{\kappa} + m_{\epsilon})}} = 1 + v_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{(g \cdot y_{\text{ст}})} \cdot \left\{ \frac{m_{\epsilon}}{(m_{\kappa} + m_{\epsilon})} \right\}}. \quad (82)$$

Визначимо далі закон руху $x_{\kappa}(t)$, за якого відсутні коливання у розглядуваній системі й виконуються початкові умови (70) та критерій якості руху типу:

$$\left\{ \frac{1}{\tau_{\Pi}} \cdot \int_0^{\tau_{\Pi}} \{x_{\kappa}(t)\}^2 dt \right\}^{1/2} \Rightarrow \min. \quad (83)$$

Вважаючи, що у (68) $P = \text{const}$, умова (83) виконується при (рівняння Ейлера-Пуассона):

$$x_{\kappa}^{(IV)} = 0. \quad (84)$$

Розв'язок (84) шукаємо при наступних термінальних (початкових та кінцевих) умовах підйому вантажу «з підхватом»:

$$\begin{aligned} x_{\kappa}|_{t=0} &= y_{\text{ст.}}; \dot{x}_{\kappa}|_{t=0} = v_0; \ddot{x}_{\kappa}|_{t=0} = (m_{\epsilon} + m_{\kappa})^{-1} \cdot \{(m_{\kappa} + m_{\epsilon}) \cdot g - C_{\kappa} \cdot y_{\text{ст.}}\} = \\ &= (m_{\kappa} \cdot g) \cdot (m_{\epsilon} + m_{\kappa})^{-1} = \frac{m_{\kappa} \cdot g}{(m_{\epsilon} + m_{\kappa})}; \dot{x}_{\kappa}|_{t=\tau_{\Pi}} = V, \end{aligned} \quad (85)$$

де: V – усталена швидкість підйому вантажу після завершення перехідного процесу ($t \geq \tau_{\Pi}$).

Розшукуємо $x_{\kappa}(t)$, яке задовольняє рівнянню (84) та умовам (85) у вигляді сплайну по t :

$$x_{\kappa}(t) = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3. \quad (86)$$

Тоді з (85) маємо:

$$b_0 = y_{\text{ст}}; \quad b_1 = v_0; \quad 2b_2 = \frac{m_{\kappa} g}{(m_{\epsilon} + m_{\kappa})}; \quad b_3 = -\frac{2b_2}{3\tau_{\Pi}}, \quad (87)$$

або:

$$\begin{aligned} x_{\kappa}(t) &= y_{\text{ст}} + v_0 \cdot t + \frac{m_{\kappa} g}{(m_{\epsilon} + m_{\kappa})} \cdot \frac{t^2}{2} - \frac{2}{3\tau_{\Pi}} \cdot \left(\frac{m_{\kappa} g}{(m_{\epsilon} + m_{\kappa})} \cdot \frac{t^3}{2} \right) = \\ &= y_{\text{ст}} + v_0 \cdot t + \frac{m_{\kappa} g}{2 \cdot (m_{\kappa} + m_{\epsilon})} \cdot t^2 - \frac{m_{\kappa} g}{3\tau_{\Pi} (m_{\epsilon} + m_{\kappa})} \cdot t^3. \end{aligned} \quad (88)$$

Коефіцієнт динамічності $K_{\partial}(t)$ не має коливного характеру при режимі руху (88):

$$K_{\partial}(t) = \frac{Q_{\epsilon} + m_{\epsilon} \cdot \ddot{x}_{\kappa}}{Q_{\epsilon}} = 1 + \frac{\ddot{x}_{\kappa}}{g} = 1 + \frac{m_{\kappa}}{(m_{\kappa} + m_{\epsilon})} \cdot \left(1 - \frac{2t}{\tau_{\Pi}} \right). \quad (89)$$

Зазначимо, що свого максимального значення K_{∂} досягає у початковий момент часу $t=0$:

$$K_{\partial \text{дин}}^{(\max)}(t) \Big|_{t=t_0} = 1 + \frac{m_{\kappa}}{(m_{\kappa} + m_{\epsilon})}. \quad (90)$$

Формули, отримані вище, (у наближенні одномасової моделі підйому вантажу «з підхватом») досить прості і можуть бути використані у практичних розрахунках, хоча й не враховують впливу другого елементу жорсткості, який існує у системі, що розглядається. При його врахуванні систему слід розглядати як двомасову з двома пружними зв'язками і, відповідно, як таку, що має дві степені вільності руху із відповідним накладанням коливань по кожній з частот та знаходженням максимуму протягом кількох періодів коливань.

Використання функцій Лагранжа для даної задачі дозволяє записати у цьому випадку наступну систему рівнянь для x_{ϵ} та x_{κ} :

$$\begin{cases} m_{\kappa} \cdot \ddot{x}_{\kappa} + C_{\kappa} \cdot x_{\kappa} + C_{\epsilon} \cdot (x_{\kappa} - x_{\epsilon}) = P_p - Q_{\epsilon} + Q_{\epsilon} = T_{\text{надл.}} + Q_{\epsilon}, \\ m_{\epsilon} \cdot \ddot{x}_{\epsilon} + C_{\epsilon} \cdot x_{\kappa} + C_{\epsilon} \cdot x_{\epsilon} = -Q_{\epsilon}, \quad T_{\text{надл.}} = P_p - Q_{\epsilon}, \quad Q_{\epsilon} = m_{\epsilon} \cdot g, \end{cases} \quad (91)$$

де: P_p – рушійна сила приводу механізму підйому.

Використовуючи друге рівняння системи (91) можна встановити, що:

$$x_{\kappa} = (m_{\epsilon} \cdot \ddot{x}_{\epsilon} + C_{\epsilon} \cdot x_{\epsilon} + Q_{\epsilon}) \cdot \frac{1}{C_{\epsilon}}. \quad (92)$$

Тоді, з (92) для $\ddot{x}_\kappa$ маємо:

$$\ddot{x}_\kappa = \frac{1}{C_\epsilon} \cdot \left(m_\epsilon \cdot x_\epsilon^{(IV)} + C_\epsilon \cdot \ddot{x}_\epsilon \right). \quad (93)$$

Використовуючи співвідношення (92), (93), можна перше рівняння системи (91) звести до рівняння для x_ϵ четвертого порядку, яке є лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням:

$$x_\epsilon^{(IV)} + \ddot{x}_\epsilon \cdot \left\{ \frac{C_\epsilon}{m_\epsilon} + \frac{(C_\epsilon + C_\kappa)}{m_\kappa} \right\} + \frac{C_\kappa}{m_\kappa} \cdot \frac{C_\epsilon}{m_\epsilon} = \frac{C_\epsilon}{m_\epsilon \cdot m_\kappa} \cdot \left(T_{\text{надл.}} - \frac{C_\kappa}{C_\epsilon} \cdot Q_\epsilon \right), \quad (94)$$

або:

$$x_\epsilon^{(IV)} + \ddot{x}_\epsilon \cdot \left\{ \Omega_\epsilon^2 + \Omega_{\text{пр}}^2 \right\} + \Omega_\kappa^2 \cdot \Omega_\epsilon^2 \cdot x_\epsilon = \Omega_\epsilon^2 \cdot \frac{1}{m_\kappa} \cdot \left(T_{\text{надл.}} - \frac{C_\kappa}{C_\epsilon} \cdot Q_\epsilon \right), \quad (95)$$

$$\text{де: } \Omega_\epsilon^2 = \frac{C_\epsilon}{m_\epsilon}, \quad \Omega_{\text{пр}}^2 = \frac{C_\epsilon + C_\kappa}{m_\kappa}, \quad \Omega_\kappa^2 = \frac{C_\kappa}{m_\kappa}.$$

Тут введені наступні позначення: C_ϵ – жорсткість підйомних канатів і приведена до них жорсткість елементів приводу, Н/м²;

$\Omega_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{(C_\epsilon + C_\kappa)}{m_\kappa}}$ – приведена частота, 1/с; C_κ – жорсткість

металоконструкції крану, Н/м; m_κ – приведена маса металоконструкції крану, кг; m_ϵ – маса вантажу.

Парціальні частоти даної системи (у с⁻¹) $p_{1,2} = \Omega_{1,2}$ можна знайти з наступних співвідношень:

$$\Omega_{1,2} = \left\{ \frac{\Omega_\epsilon^2 + \Omega_{\text{пр}}^2}{2} \pm \sqrt{\frac{(\Omega_\epsilon^2 + \Omega_{\text{пр}}^2)^2}{4} - \Omega_\kappa^2 \cdot \Omega_\epsilon^2} \right\}^{1/2}. \quad (96)$$

Тривалість часу, яка відповідає моменту відриву вантажу від опори (при підніманні вантажу способом «з підхватом») знаходиться з наступного трансцендентного рівняння [1]:

$$\tau_0 + \left[\frac{C_\epsilon}{C_\kappa \cdot \Omega_{\text{пр}}} \right] \cdot \sin(\Omega_{\text{пр}} \cdot \tau_0) = g \cdot \Omega_{\text{пр}}^2 / (v_0 \cdot \Omega_\kappa^2 \cdot \Omega_\epsilon^2), \quad (97)$$

де: V_0 – швидкість підйому вантажу після його відриву від поверхні опори. Доволі часто V_0 ототожнюють з V – усталеною швидкістю підйому вантажу [1,3], тобто ($V_0 \approx V$). Хоча при точному аналізі процесу підйому вантажу способом «з підхватом» V_0 знаходиться з наступних міркувань. Абсолютна деформація основи, на якій до початку підйому лежить вантаж, тобто X_0 , визначається зі співвідношення:

$$X_0 = \frac{m_e \cdot g}{C_{\text{осн.}}}, \quad (98)$$

де: $C_{\text{осн.}}$ – жорсткість основи, на якій знаходиться вантаж перед підйомом «з підхватом», Н/м. Вважаючи, що практично вся енергія деформації основи під дією вантажу маси m_e при відриві від неї вантажу переходить у його кінетичну енергію руху $W^{(\text{кін})} = \frac{m_e \cdot v_0^2}{2}$, маємо (згідно з законом збереження енергії у механіці):

$$\frac{C_{\text{осн.}} \cdot X_0^2}{2} = \frac{m_e \cdot v_0^2}{2} \Leftrightarrow \frac{m_e \cdot g^2}{C_{\text{осн.}}} = v_0^2. \quad (99)$$

(При цьому ми нехтуємо втратами на теплові процеси, які відбуваються у деформованій основі при відриві від неї вантажу, тобто нехтуємо тепловими втратами, що, безумовно, існують у основі при відновленні її первинного, недеформованого стану). Остаточний вираз для

V_0 приймає вигляд:

$$v_0 = g \cdot \sqrt{\frac{m_e}{C_{\text{осн.}}}}. \quad (100)$$

При $t > \tau_0$ починається підйом вантажу способом «з ваги», котрий описаний вище у вигляді системи рівнянь (4), де $m_p \equiv m_\kappa$.

Розв'язок рівняння (95) можна подати наступним чином:

$$\begin{cases} x_e(t) = A_1 \sin \Omega_1 t + A_2 \cos \Omega_1 t + A_3 \sin \Omega_2 t + A_4 \cos \Omega_2 t + X^*, \\ X^* = \frac{1}{C_\kappa} \cdot \left(T_{\text{надл.}} - \frac{C_\kappa}{C_e} \cdot Q_e \right), \end{cases} \quad (101)$$

а константи $A_i, i = \overline{(1,4)}$, знаходимо з наступних термінальних (початкових і кінцевих) умов підйому вантажу способом «з підхватом»:

$$x_{\varepsilon}|_{t=0} = 0; \dot{x}_{\varepsilon}|_{t=0} = 0; \ddot{x}_{\varepsilon}|_{t=\tau_0} = -g; \dot{x}_{\varepsilon}|_{t=\tau_0} = v_0. \quad (102)$$

З (101) видно, що вантажу, який піднімають способом «з підхватом», притаманні коливання з парціальними частотами Ω_1, Ω_2 , що викликає незручності й динамічні перевантаження канатної системи крану при здійсненні останнім низки навантажувально-розвантажувальних робіт [1]. Визначимо, за якого режиму руху $x_{\varepsilon}(t)$ можна позбутися вказаних вище незручностей. Для цього слід розглянути систему рівнянь (4), (6), котра зводиться до рівняння (7), але для $t > \tau_0$ (коли відбувся відрив вантажу від опори з наступними початковими умовами руху (вони діють саме у моменти часу $t > \tau_0$ й до моменту $t = \tau_{\Pi}$, де τ_{Π} – момент часу, коли швидкість підйому вантажу досягне усталеного значення V , за якого здійснюється рівномірний підйом вантажу):

$$\xi|_{t=\tau_0} = \frac{Q_{\varepsilon}}{C}; \dot{\xi}|_{t=\tau_0} = v_0; \ddot{\xi}|_{t=\tau_0} = \frac{T_{надл.}}{m_p}; \dot{\xi}|_{t=\tau_{\Pi}} = V. \quad (103)$$

З рівняння (7) легко визначити $\xi(t)$:

$$\xi(t) = \frac{1}{\Omega^2} \cdot \left\{ \left(\frac{Q_{\varepsilon} + T_{надл.}}{m_p} + \frac{Q_{\varepsilon}}{m_{\varepsilon}} \right) - \ddot{\xi} \right\}. \quad (104)$$

Будемо розшукувати такий режим руху, за якого виконується наступний критерій якості (цього руху):

$$\int_{\tau_0}^{\tau_{\Pi}} (\xi(t))^2 dt \Rightarrow \min. \quad (105)$$

Якщо ввести нову змінну $t^* = t - \tau_0$, тоді критерій (105) та умови (103) приймуть наступний вигляд:

$$\begin{cases} \int_0^{\tau_{\Pi}-\tau_0} \{\xi(t^* + \tau_0)\}^2 d(t^*) \Rightarrow \min, \\ \xi|_{t^*=0} = \frac{Q_{\varepsilon}}{C}; \dot{\xi}|_{t^*=0} = v_0; \ddot{\xi}|_{t^*=0} = \frac{T_{надл.}}{m_p}; \dot{\xi}|_{t^*=\tau_{\Pi}-\tau_0} = V. \end{cases} \quad (106)$$

Використовуючи заміну $\xi(t^* + \tau_0)$ (106) й підставляючи її у критерій якості руху (105), отримаємо необхідну умову реалізації цього критерію (рівняння Ейлера-Пуассона) вигляду:

$$\xi^{(IV)}(t^* + \tau_0) = 0. \quad (107)$$

Будемо розшукувати розв'язок цього рівняння у вигляді:

$$\xi(t^* + \tau_0) = \tilde{d}_0 + \tilde{d}_1 \cdot (t^* + \tau_0)^1 + \tilde{d}_2 \cdot (t^* + \tau_0)^2 + \tilde{d}_3 \cdot (t^* + \tau_0)^3. \quad (108)$$

Оскільки справедливе співвідношення:

$$\begin{cases} \frac{d\xi(t^* + \tau_0)}{d(t^* + \tau_0)} = \frac{d\xi(t^* + \tau_0)/dt^*}{d(t^* + \tau_0)/dt^*} = d\xi(t^* + \tau_0)/dt^*; \\ \xi^{(IV)}(t^* + \tau_0) = \xi_{t^*, t^*, t^*, t^*}^{(IV)} = \xi_{4t^*}^{(IV)}(t^* + \tau_0), \xi^{(IV)}(t^* + \tau_0) = \xi^{(IV)}(t), \end{cases} \quad (109)$$

а $\tau_0 \leq t^* + \tau_0 \leq \tau_n$, тоді $0 \leq t^* \leq \tau_n - \tau_0$.

Крім того, зрозуміло, що:

$$\lim \xi^{(IV)}(t^* + \tau_0) = \xi^{(IV)}(t^*) = \xi^{(IV)}(t). \quad (110)$$

Рівняння для $\xi(t^*)$, яке задовольняє умову Ейлера-Пуассона, $\xi^{(IV)}(t^*) = 0$, будемо розшукувати у вигляді сплайна по t^* третього порядку, а саме:

$$\xi(t^*) = d_0 + d_1 \cdot t^* + d_2 \cdot (t^*)^2 + d_3 \cdot (t^*)^3, \quad t^* \geq 0. \quad (111)$$

Для $\xi(t)$ можна отримати:

$$\xi(t) = \tilde{d}_0 + \tilde{d}_1 \cdot t^1 + \tilde{d}_2 \cdot t^2 + \tilde{d}_3 \cdot t^3, \quad t \geq \tau_0. \quad (112)$$

По суті, запис (112) означає, що, починаючи з $t \geq \tau_0$, або $t^* \geq 0$ функція $\xi(t^*)$ веде себе щодо аргумента t^* так само, як і функція $\xi(t)$, – вона неперервна й монотонно зростаюча.

Враховуючи умови (106) для $\xi(t^*)$ (111), маємо:

$$\xi(t^*) = \frac{Q_0}{C} + v_0 \cdot t^* + \frac{T_{наодл.}}{2m_p} \cdot (t^*)^2 + \left\{ \frac{(V - v_0) - \frac{T_{наодл.}}{m_p} \cdot (\tau_{п} - \tau_0)}{3(\tau_{п} - \tau_0)^2} \right\} \cdot (t^*)^3. \quad (113)$$

Динамічна складова зусилля, яке виникає у канатній системі при підйомі вантажу «з підхватом», має вигляд:

$$P_{Б.З.}(t^*) = C\xi(t^*) = \\ = Q_0 + C v_0 (t^*) + \frac{C \cdot T_{наодл.}}{2m_p} (t^*)^2 + C \left\{ \frac{(V - v_0) - \frac{T_{наодл.}}{m_p} \cdot (\tau_{п} - \tau_0)}{3(\tau_{п} - \tau_0)^2} \right\} (t^*)^3. \quad (114)$$

Коефіцієнт динамічності $K_{дин}(t^*)$ має наступний вигляд:

$$K_{дин}(t^*) = \frac{P_{Б.З.}(t^*)}{m_0 \cdot g} = 1 + \frac{C \cdot v_0 \cdot (t^*)}{m_0 \cdot g} + \frac{C \cdot T_{наодл.}}{2m_p \cdot m_0 \cdot g} \cdot (t^*)^2 + \\ + \frac{C \cdot \left[(V - v_0) - \frac{T_{наодл.}}{m_p} \cdot (\tau_{п} - \tau_0) \right]}{m_0 \cdot g \cdot 3(\tau_{п} - \tau_0)^2} \cdot (t^*)^3. \quad (115)$$

З (115) видно, що $K_{дин}(t^*)$ не має коливного характеру.

Максимального значення ця величина набуває при $t^* = \tau_{п} - \tau_0$, а саме:

$$K_{дин}^{(max)}(t^*) = K_{дин}(t^*) \Big|_{t^* = \tau_{п} - \tau_0} = \\ = 1 + \frac{2 \cdot C \cdot v_0 \cdot (\tau_{п} - \tau_0)}{3m_0 \cdot g} + \frac{C \cdot V \cdot (\tau_{п} - \tau_0)}{3m_0 \cdot g} + \frac{C \cdot T_{наодл.} \cdot (\tau_{п} - \tau_0)^2}{6m_p \cdot m_0 \cdot g}. \quad (116)$$

Висновки

1. Обґрунтовані фізико-механічні моделі для аналізу процесу підйому вантажу мостовими кранами двома способами: «з ваги» та «з підхватом»/«з основи».

2. Визначені закони руху елементів вказаних моделей у межах одно- та двомасової розрахункових схем, які дозволяють уникати коливань вантажу та суттєво зменшують значення коефіцієнтів динамічності.

3. У подальшому слід вдосконалити, на думку авторів роботи, дослідження процесів підйому вантажу різними способами при врахуванні дискретно-континуальних властивостей систем та механізмів, призначених для цього.

Конфлікти інтересів

Автори, заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий. Особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилось без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Novak S.M., Lohvynets A.S. Zashchyta ot vybratsyy u shuma v stroytelstve: spravochnik . - K.: Budivelnik, 1990. 184 s.
2. Loveikin V.S., Romasevych Yu.O., Chovniuk Yu.V., Kadykalo I.O. Dynamika y optymizatsiia pidiomno-transportnykh mashyn. Monohrafiia. – K.: TsP «KOMPRINT», 2019. 292 s.
3. Chovniuk Yu.V., Sivak I.M. Dynamika vantazhopidiomnykh ta budivelnykh mashyn. Monohrafiia. – K.: NUBiPU, 2014. 774 s.
4. Chovniuk Yu.V., Prymachenko O.V., Cherednichenko P.P., Ostapushchenko O.P., Kravchenko I.M. Analiz pruzhnykh khvylyutvoren u kanatakh vantazhopidiomnykh kraniv. Suchasne budivnytstvo i arkhitektura. Zb. nauk. prats. Odesa: ODABA, 2023. Vyp. 4. S. 23-32.
5. Chovniuk Yu.V., Sivak I.M., Kravchuk V.T. Dyskretno-kontynualne modeliuvannya ta dynamichna optymizatsiia rezhymiv roboty vantazhopidiomnykh ta transportuiuchykh mashyn. Monohrafiia. – K.: TOV «TROPEA», 2020. 180 s.
6. Chovniuk Yu.V., Cherednichenko P.P., Shudra N.S., Liutikov A. Optymizatsiia protsesiv peremishchennia i rozghonu vantazhnoho vizka mostovoho krana u rezhymy hasinnia nekerovanykh kolyvan vantazhu//Tekhnika budivnytstva. 2024. Vyp. 40. S. 71-78.
7. Loveikin VS, Romasevych YO (2017), Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode, Issue 4, Naukovyi Visnyk Natsion alnoho Hirnychoho Universytetu, rr. 55-61.
8. Hryhorov O, Svirgun V (1986), Improving the productivity of utili ty cranes through optimum motion control, Vol. 6, Soviet machine science, pp. 25-29.

9. Loveikin VS, Pochka KI (2017), Synthesis of camshaft driving mechanism in roller molding installation with combined motion mode according to acceleration of third order, Vol. 16, Iss. 3, Science & Technique, pp. 206-214.
10. Okun A, Los Y (2016), The controllability function method, Vol. 78, Iss. 3, U.P.B. Scientific Bulletin. Series D: Mechanical Engineering, pp. 3–8.
11. Loveikin V.S. Dynamika ta optymalne keruvannya rukhom mostovyykh kraniv. Monohrafiia / V.S. Loveikin, Yu.O. Romasevych, V.A. Holdun, V.V. Krushelnyskyi. – K.: TsP „KOMPRINT”, 2019. – 460 s.
12. Romasevych Yu. O. Dynamichna optymizatsiia rezhymiv rukhu mekhanizmiv vantazhopidionnykh mashyn yak mekhatronnykh systemy: dys. dokt. tekhn. nauk. 05.05.05. Odeskyi natsionalnyi politekhnichnyi universytet, 2015. 519 s.
13. Slepuzhnikov Ye. D. Vyznachennia dynamichnykh navantazhen pry peresuvanni vantazhnoho vizka mostovoho kрана. Mashynobuduvannya. 2015. Vyp. 16. S. 34–37.
14. Loveikin V., Romasevych Yu., Goldun V. Experimental research of the dynamics of lifting and lowering a load on a vehicle. Motrol. Vol 19. No 3. 2017. P. 129-135.
15. Romasevych Yu.O. Syntez optymального keruvannya rukhom vantazhopidionnymy kranamy / Yu.O. Romasevych // Vseukrainskyi zbirnyk naukovykh prats „Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny”. – 2014. – № 83. – S. 26-33.
16. Slepuzhnikov Ye. D. Vykorystannia kraniv mostovoho typu v suchasniy promyslovosti. / Ye. D. Slepuzhnikov, N. M. Fidrovskaya // Tendenze attuali della moderna ricerca scientifica. 2020, Band 3. – S. 96-97.
17. Remarchuk, M.P. Vyznachennia stanu kranovykh mekhanizmiv dlia pidionu vantazhu na stadiiakh yikh proektuvannya ta ekspluatatsii [Tekst] / M.P. Remarchuk, O.V. Kebko, O.O. Halytskyi // Materialy XXII-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni aspekty modernizatsii nauky: stan, problemy, tendentsii rozvytku». Tezy dopovidei (07 lyupnia 2022 roku). – Liubliana (Sloveniia), 2022 – S. 477–491.

Література

1. Новак С.М., Логвинец А.С. Защита от вибрации и шума в строительстве: справочник. – К.: Будівельник, 1990. 184 с.
2. Ловеїкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В., Кадикало І.О. Динаміка й оптимізація підйомно-транспортних машин. Монографія. – К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2019. 292 с.
3. Човнюк Ю.В., Сівак І.М. Динаміка вантажопідйомних та будівельних машин. Монографія. – К.: НУБіПУ, 2014. 774 с.
4. Човнюк Ю.В., Приймаченко О.В., Чередніченко П.П., Остапущенко О.П., Кравченко І.М. Аналіз пружних хвилеутворень у канатах вантажопідйомних кранів. Сучасне будівництво і архітектура. Зб. наук. праць. Одеса: ОДАБА, 2023. Вип. 4. С. 23-32.
5. Човнюк Ю.В., Сівак І.М., Кравчук В.Т. Дискретно-континуальне моделювання та динамічна оптимізація режимів роботи вантажопідйомних та транспортуючих машин. Монографія. – К.: ТОВ «ТРОПЕА», 2020. 180 с.
6. Човнюк Ю.В., Чередніченко П.П., Шудра Н.С., Лютіков А. Оптимізація процесів переміщення і розгону вантажного візка мостового крана у режимі гасіння некерованих коливань вантажу//Техніка будівництва. 2024. Вип. 40. С. 71-78.
7. Loveikin VS, Romasevych YO (2017), Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode, Issue 4, Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, pp. 55-61.

8. Hryhorov O, Svirgun V (1986), Improving the productivity of utility cranes through optimum motion control, Vol. 6, *Soviet machine science*, pp. 25-29.
9. Loveykin VS, Pochka KI (2017), Synthesis of camshaft driving mechanism in roller molding installation with combined motion mode according to acceleration of third order, Vol. 16, Iss. 3, *Science & Technique*, pp. 206-214.
10. Okun A, Los Y (2016), The controllability function method, Vol. 78, Iss. 3, *U.P.B. Scientific Bulletin. Series D: Mechanical Engineering*, pp. 3–8.
11. Ловейкін В.С. Динаміка та оптимальне керування рухом мостових кранів. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, В.А. Голдун, В.В. Крушельницький. – К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2019. – 460 с.
12. Ромасевич Ю. О. Динамічна оптимізація режимів руху механізмів вантажопідйомних машин як мехатронних системи: дис. докт. техн. наук. 05.05.05. Одеський національний політехнічний університет, 2015. 519 с.
13. Слепужников Є. Д. Визначення динамічних навантажень при пересуванні вантажного візка мостового крана. Машинобудування. 2015. Вип. 16. С. 34–37.
14. Loveikin V., Romasevych Yu., Goldun V. Experimental research of the dynamics of lifting and lowering a load on a vehicle. *Motrol*. Vol 19. No 3. 2017. P. 129-135.
15. Ромасевич Ю.О. Синтез оптимального керування рухом вантажопідйомними кранами / Ю.О. Ромасевич // Всеукраїнський збірник наукових праць „Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини”. – 2014. – № 83. – С. 26-33.
16. Слепужников Є. Д. Використання кранів мостового типу в сучасній промисловості. / Є. Д. Слепужников, Н. М. Фідровська // *Tendenze attuali della moderna ricerca scientifica*. 2020, Band 3. – С. 96-97.
17. Ремарчук, М.П. Визначення стану кранових механізмів для підйому вантажу на стадіях їх проектування та експлуатації [Текст] / М.П. Ремарчук, О.В. Кебко, О.О. Галицький // *Матеріали XXII-ої Міжнародної науковопрактичної конференції «Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку»*. Тези доповідей (07 липня 2022 року). – Любляна (Словенія), 2022 – С. 477–491.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.10.2025	Received 14.10.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.11.2025	Received in revised form 15.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Yu. V. Chovnyuk

PhD in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0608-0203>

Department of Physical education and sport

Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03037

P. P. Cherednichenko*

Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-661X>

Department taun building

Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03037

O. P. Ostapushchenko

PhD in Engineering, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-8114-349X>

Department Department of Electrical Engineering and Electrical Drive

Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03037

I. M. Kravchenko

Assistant, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7077-1546>

Department of Department of Electrical Engineering and Electrical Drive

Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force Avenue Air Force Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03037

A. O. Zadorozhny

PhD in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1031-0585>

Department of Armored weapons and military equipment of the faculty of armaments and military equipment

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kyrpychova, 2, Kharkiv, Ukrain

*corresponding autor, email: petro_che@ukr.net

Analysis of oscillations (vibration) of structural elements of lifting mechanisms and machines

How to Cite:

Chovnyuk Yu.V., Cherednichenko P.P., Ostapushchenko O.P., Kravchenko I.M., Zadorozhny A.O., (2025). Analysis of oscillations (vibration) of structural elements of lifting mechanisms and machines. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 621-650. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-53](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-53)

Cargo movement by hoisting mechanisms and machines used in urban construction, such as overhead cranes (OC) with non-rigid rope suspensions of the load causes pendulum vibrations of the load, in which there is an uncontrollable component. The oscillations significantly increase the cycle time of such OCs, reduce productivity and safety. There is a growing danger of collision of the load with objects present in the movement zone, and damage/destruction of the load, other objects and the OC itself is probable. In this regard, it is advisable to completely suppress uncontrolled components of pendulum oscillations of the load both during its movement and when the load reaches the target point. This is especially important when moving dangerous cargoes: containers with liquid materials (such as resin), flammable liquids, etc.

During the operation of OC and other types of construction/cargo lifting cranes due to the swinging of the load on the rope there are significant dynamic loads. In this paper we analyze the regularities of the process of load oscillations on the basis of a two-mass model, taking into account the influence of initial conditions on the possible values of dynamic loads, as well as the possibility of optimizing (minimizing) these loads.

The review of available reference and normative materials determining the normative values of dynamic coefficients is given. The results obtained in the paper can be further used for dynamic calculations, their improvement and refinement, for design and engineering development of finite element models of cantilever booms with loads on the rope and without rope during acceleration/deceleration in the process of boom rotation to substantiate the dynamic coefficients of specific designs of OC and urban construction cranes of other types.

Keywords: analysis, oscillations, vibrations, loads, rope systems, pendulum oscillations of loads, city-building and overhead cranes.

UDC 510; 514; 530.1

Yu. V. Chovnyuk

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0608-0203>

Department of Physical education and sport

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povtroflotskyi Syl avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03037

O. M. Shamykh

Doctor of Science, Professor ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2188-215>

Department of Physical education and sport

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povtroflotskyi Sil avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03037

A. V. Priymachenko

Ph.D., Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5125-8472>

Department of urban planning

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povtroflotskyi Sil avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03037

P. P. Cherednichenko*

Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7161-661X>

Department of urban planning

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povtroflotskyi Sil avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03037

E. O. Ivanov

Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1318-0472>

Department of for languages and translation

State univeraity „Kyiv aviation institut“

Lubomyr Huzar avenue, 1, Kyiv, 03058, Ukraine

*corresponding autor, email: petro_che@ukr.net

Fractal formalism in identification of indoor sports facilities as systems with partial indeterminism

How to Cite:

Chovnyuk, Yu. V., Shamykh, O. M., Priymachenko, A. V., Cherednichenko, P. P., Ivanov, E. O.

Fractal formalism in identification of indoor sports facilities as systems with partial indeterminism

Modern technologies and methods of calculations in construction, 24, 651-663.

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-54](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-54)

© 2025, Chovnyuk Yu.V., Shamykh O.M., Priymachenko A.V., Cherednichenko P.P., Ivanov E.O.

The paper considers the peculiarities of functioning and management of closed-type sports facilities designed to implement artificial hypoxic training process. For identification of such complex systems models of different types are used depending on the goals set. The complexity of the choice of physical and mathematical models in this case is due to the complexity of the behavior of the systems under consideration at different moments of time, during which their basic properties can change dramatically. The use of the E. Lorentz air carousel allows in this study to

apply the methods of fractal formalism and modeling to describe the behavior of such numerically irreducible systems. An algorithm for determining the self-similarity region for the object under study is given, which, in its turn, makes it possible to reduce the probability of violation of its normal operation mode, namely, maintaining the constancy of static and dynamic components of oxygen partial pressure, proper humidity, speed and direction of air mass flow circulation in the given structure (without using energy-consuming forced ventilation system). The possibilities of application of fractal models and methods of geometrical control theory for identification of complex systems/sports facilities of the closed type functioning in energy-saving modes and intended for artificial hypoxic training are considered.

It should be noted that for air mass circulation technologies (without the use of forced ventilation) in closed sports facilities for hypoxic training of athletes, the above method of determining the self-similarity region can serve as an analogue of the indicator, which constantly registers the approach of the determining parameter to one of the boundaries of the self-similarity region, thereby signaling the probability of a situation that leads to a sharp change in the direction of circulation of air masses in the building.

Keywords: fractal formalism, identification, sports facilities, systems with partial indeterminism, energy-saving technologies, methods of geometric control theory

Formulation of the problem

Now in different countries of the world there are sports and training centers located in the middle mountains. The largest and better equipped centers are located at altitudes from 1600-1700 m to 2300-2600 m. Conditions of many modern centers allow to use training and living in quite a wide range of altitudes: athletes can live at an altitude of 1800-2500 m and train at an altitude of 2700-3500 m, or vice versa, live at an altitude of 2200-3000 m and train at an altitude of 1000-1200 m, etc. For example, athletes who train at a mid-mountain center in Colorado Springs (USA) have the opportunity to train at an altitude of 1860 m and reside at an altitude of 2750 m in the highlands.

There are many peculiarities of functioning and management of closed-type sports facilities designed to implement artificial hypoxic training process. For identification of such complex systems models of different types are used depending on the goals set. The complexity of the choice of physical and mathematical models in this case is due to the complexity of the behavior of the systems under consideration at different moments of time, during which their basic properties can change dramatically. The use of the E. Lorenz air carousel allows applying the methods of fractal formalism and modeling to describe the behavior of such numerically irreducible systems. An algorithm for determining the self-similarity region for the object under study is known, which, in its turn, makes it possible to reduce the probability of violation of its normal operation mode, namely, maintaining the constancy of static and dynamic components of oxygen partial pressure, proper humidity, speed and direction of air mass flow circulation in the given structure (without using energy-consuming forced ventilation system). There are some possibilities of application of fractal models and methods of geometrical

control theory for identification of complex systems/sports facilities of the closed type functioning in energy-saving modes and intended for artificial hypoxic training.

Analysis of the latest publications on the research topic

All the variety of forms of training athletes using an additional hypoxic factor can be divided into two groups [1]: natural hypoxic training (training in mountain conditions) and artificial hypoxic training (training at sea level with the use of special facilities, equipment or methodological techniques that ensure the presence of an additional hypoxic factor). Special studies, as well as the experience of training outstanding athletes in different countries of the world have convincingly shown that the main place in the system of hypoxic training of athletes should be occupied by natural training in the mountains, which causes noticeably more pronounced reactions and effective adaptation compared to hypoxic training in artificially created conditions [1, 2]. At the same time, artificial hypoxic training with its rational planning can successfully complement training in the mountains, eliminating many organizational and methodological shortcomings of the latter [3, 4].

To date, it is difficult to imagine the identification of closed sports facilities of this type due to their extreme complexity, especially if we take into account the processes of heat and mass transfer and the problems of optimal control (with the use of energy-saving technologies) of the movement of air masses constantly circulating in such buildings. Obvious in this case is the need to use mathematical modeling methods. Among all types of mathematical models of modern indoor sports facilities for artificial hypoxic training of athletes as particularly complex systems, a special place is occupied by models in which it is necessary to substantiate its belonging to the fractal type [6-9]. At the same time, we should pay special attention to the fact that such objects at their identification at some moments of time are observed situations in which some components of the system (in particular, circulating in the structure air mass flows, the direction of movement of which is determined by the determining parameter) instantly change the sign of their action to the opposite one. Such a phenomenon is dictated by the global instability of the identification object.

About global instability, which usually leads to numerically irreducible problems of identification of some, as if deterministic objects [10], began to talk intensively after the discovery by E. Lorenz of the so-called "atmospheric merry-go-round", which, for example, leads to unpredictability of weather.

E. Lorenz mathematically described the change of the atmosphere, which is affected by two factors: heating of air from the ground and its cooling in the upper layers. As a result of heating, the air expands and rises upward, displacing the cold air that descends. A kind of "carousel" is formed.

Having made several revolutions in one direction, at some point in time this carousel begins to rotate in another direction, then again changes its direction, etc.

The nature of this phenomenon is quite simple. With large temperature differences, the speed of the air mass will be high and it will not have time to cool down at the top in order to descend, and therefore begins to "float", which will slow down the rotation of this "carousel". As a result, the rotation starts in the other direction, etc. (It is assumed that the occurrence of tornadoes, tornadoes and similar phenomena is subject to similar laws).

The use of the E. Lorenz air carousel allows in this study to apply the methods of fractal formalism and modeling to describe the behavior of such numerically irreducible systems. An algorithm for determining the self-similarity region for the object under study is given, which, in its turn, makes it possible to reduce the probability of violation of its normal operation mode, namely, maintaining the constancy of static and dynamic components of oxygen partial pressure, proper humidity, speed and direction of air mass flow circulation in the given structure (without using energy-consuming forced ventilation system). The possibilities of application of fractal models and methods of geometrical control theory for identification of complex systems/sports facilities of the closed type functioning in energy-saving modes and intended for artificial hypoxic training are considered.

Purpose and objectives of the study. The purpose of the work is to justify the use of methods of the fractal modeling and geometrical control theory for identification of complex systems/sports facilities of the closed type functioning in energy-saving modes and intended for artificial hypoxic training.

Materials and methods

We used such methods: a) methods of the mathematical physics; b) methods of molecular and kinetic theory; c) methods of geometric control theory; d) methods of fractal modeling.

In recent years, much attention has been paid to the introduction of training under conditions of artificially created hypoxia into the process of training athletes. Such training requires special facilities and equipment. For this purpose, bar cameras are used, in which the total air pressure and, consequently, the partial pressure of oxygen are changed; climatic chambers, in which a given hypoxic mixture is supplied. For example, the Olympic training base in Colorado Springs operates a bar camera with a built-in hydro channel for training swimmers (Figure 1). Similar facilities exist at various centers for training runners, cyclists, skiers, rowers, and athletes specializing in other sports.

Each of the forms of artificial hypoxic training that are used in practice (staying in climatic chambers, using masks through which a hypoxic mixture is fed, etc.) and training in climatic chambers, use of masks through which a hypoxic mixture is fed, etc.), has strengths and weaknesses and, of course, cannot replace training in natural mountain conditions.

However, training in artificial hypoxic conditions is a good addition to natural mountain training, which allows to ensure the effective process of acclimatization of athletes in mountain conditions, as well as to maintain the achieved in natural mountain training.

Conditions, as well as to maintain the level of adaptation, achieved in the mountains during the period of subsequent training in the plain conditions.

Artificial hypoxic training is an effective means of accelerating the acclimatization process, especially in cases when training in mountain conditions cannot last for a long time. The use of hypoxic training for several days before moving to the mountains of intense training programs in conditions of artificial hypoxia allows to accelerating significantly the process of adaptation of athletes to mountain conditions and already on the third or fourth day of their stay in the mountains to plan intense training programs.

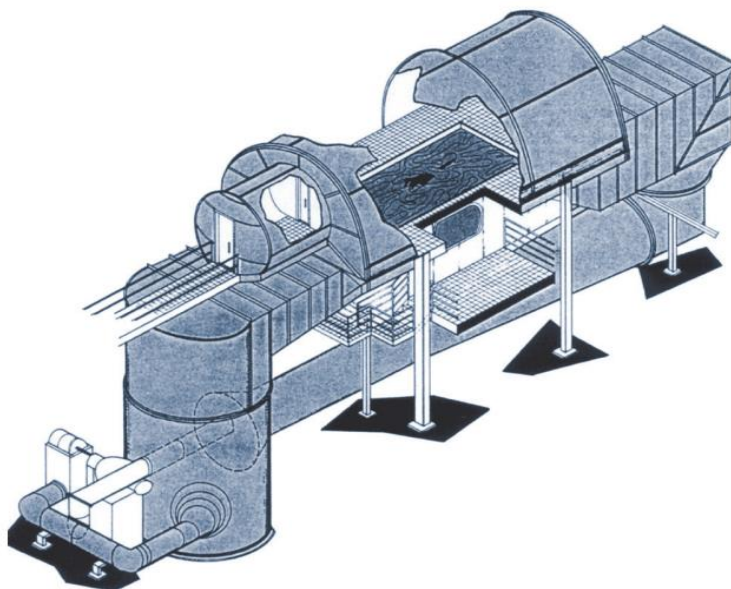


Fig.1. A hydrodynamic pool hyperbaric chamber (schematic), which operates at the U.S. Olympic base in Colorado Springs (General View)

Numerous observations made during training of high-class athletes in different countries of the world have shown that preliminary training in artificial hypoxic conditions allows accelerating the process of acclimatization of athletes on average 2-2.5 times. Athletes, who apply artificial hypoxic training for 5-10 days before going to the mountains, pass the phase of acute acclimatization within

2-3 days. Without such preliminary preparation, training in the mountains with high loads can be started only 5-7 days after moving to the mountains [4].

The minimum amount of preliminary artificial hypoxic training necessary for the subsequent effective mountain adaptation depends on many factors (athlete's specialization, experience of mountain training, nature of previous and subsequent mountain training, and the nature of the mountain adaptation, training, the nature of previous and subsequent training, etc.). The effect is noticeable already in the case when artificial hypoxic training is used for 10 days with a total amount of work in hypoxic conditions of 12-15 hours.

The use of artificial hypoxic training for preliminary adaptation to mountain conditions is especially effective in the case when it is planned to hold training camps in the mountains at an altitude of more than 2000 meters. The height of ascent during training in artificial hypoxia should be planned in accordance with the height of the next mountain training. The time interval between the last training session in conditions of artificial hypoxia and the first training session in the mountains should not exceed 2,000 meters.

Training in the mountains should not exceed three days [3].

If it is necessary to participate in a long series of competitions, the maintenance of the level of fitness is facilitated by the inclusion in the programs of microcycles of classes that are held in conditions of artificial hypoxia and contribute to the maintenance of the previously achieved level of aerobic and anaerobic glycolytic capabilities. The alternation of such sessions with speed, strength, coordination and technical-tactical activities, which are conducted under normal conditions, allows maintaining the level of athletes' readiness for starts for a long time [5].

In the period between the end of mountain training and starts in the main competitions, short-term microcycles (3-6 days) with an increased volume of hypoxic training in artificial conditions can be included, which will allow to maintain the level of adaptation achieved by training in the mountains. An important point in the inclusion of training with artificial hypoxic conditions is the possibility to alternate work on the development of aerobic and anaerobic glycolytic capabilities in hypoxia with training in normal conditions, which contributes to the improvement of other aspects of fitness, work on which is contraindicated in hypoxia.

New in our research

The Lorenz carousel effect is inherent in many technologies. If one fix the moments of time when the direction of rotation of this "carousel" changes, he will get a random sequence of numbers. In particular, in the above-mentioned closed-type sports facilities (swimming pools) designed for artificial hypoxic training, the mobility/velocity of air near the water surface should be minimal ($V=0.05$ m/s). Increased mobility leads to a significant increase in water evaporation, deterioration of relative humidity control and increased energy consumption by

the ventilation system. The air velocity at the floor of the room around the pool should be within $V=0.13$ m/s so that swimmers do not experience unpleasant cooling sensations due to evaporation. In the upper part (at the ceiling of the pool), the speed of air masses can be higher due to the operation of specially equipped forced ventilation, which, incidentally, operates, as a rule, far from energy-saving (and, therefore, excessively energy-consuming) modes.

In connection with the above-mentioned, to investigate the possibility of the E. Lorenz carousel occurrence in the air masses of a swimming pool (as objects of identification of indoor sports facilities for artificial hypoxic training), the algorithms of application of fractal formalism are given below. It is this formalism, according to the authors of this paper, which is able to identify objects and systems with partial indeterminism.

The components of the determining parameter can be chosen as the velocity of the air mass and its temperature, after which the self-similarity region is defined as the constancy of the ratio of these components. However, it is necessary (!) to take into account the necessity of keeping constant the value of oxygen partial pressure (O_2) (its static and dynamic components), especially in conditions of artificial hypoxia. Maintaining a constant value of the latter parameter is possible by special regulation (by methods of geometric control theory) of temperature, humidity and velocity of air masses (and, in particular, of O_2 flows) in case of random change of one or several of these values.

Taking into account the unpredictability of the moment of change in the direction of rotation of the E. Lorenz carousel, this identification object is numerically irreducible [10].

This study shows how the application of fractal formalism and some relations of the molecular kinetic theory of gases to form a mathematical model of this object of identification partially eliminate the uncertainty resulting from the incompleteness of the formal axiomatic [10]. In the framework of fractal formalism for the formation of a model (air mass motion) with similar properties, we consider it necessary to establish the self-similarity regions of the determining parameter, and to prove the correctness of the statement "the moment of change in the direction of rotation of the E. Lorenz carousel is predictable", we apply the principle of external complement of S. Beer [11]. The application of such a new chosen description language acts here as a practical method aimed at partial elimination of the complexity arising from Gödel's incompleteness theorem [12 - 14]. It is to be expected that it is also the new language of description of the phenomenon that will not be able to bring an undecidable statement to an exact definition. This would require the application of an even higher level description language, and so on.

So, for this purpose, we will describe the self-similarity of the area of the determining parameter of the motion (more precisely, the circulation of air masses and, in particular, O_2) in a language of a higher level than the language that was applied before - in the language of fractal formalism. The study shows how the

application of this language contributes to the determination of the moment of change in the rotation of the E. Lorenz carousel of air masses (which, incidentally, allows us to significantly reduce various energy inputs to maintain the functioning of forced ventilation in a closed sports facility/pool for artificial hypoxic training). For this purpose, we assume that the boundaries of the self-similarity region of the E. Lorenz carousel of the air masses of the facility are determined with an acceptable error by the constancy of the relations:

$$K = \frac{T_1/V_1}{T_2/V_2} \approx const, \quad (1)$$

where: T_1, T_2 – represents the air mass temperatures in the two investigated areas (at the pool floor and at the pool ceiling, respectively); V_1, V_2 – represents the velocity of air masses in these areas. Region V_1 – is the area in which the air mass velocity is determined at the minimum distance from the pool floor surface (area of the minimum value of the determining parameter); region V_2 – is the area in which the air mass velocity is determined at a given distance from the pool floor surface (i.e. at the ceiling of an indoor sports facility for artificial hypoxic training) – the area of maximum value of the determining parameter.

The change in the direction of rotation of the air mass to the opposite direction does not occur instantaneously, but when the defining parameter approaches one of the boundaries of the self-similarity region, accompanied by a change in the sign of rotation. The time required to change the sign of rotation is the lag time, which can vary in a wide range from 0 до ∞ .

From the above, it follows that the E. Lorenz carousel of air masses in a closed-type sports facility (swimming pool) for artificial hypoxic training can be described by a fractal model, where the dimension of this model D is proportional to the value of the self-similarity coefficient:

$$D \sim K. \quad (2)$$

To keep constant of the partial pressure (its static and dynamic components) of the main components of the air mass (nitrogen, oxygen and water vapor), the relations and laws of the molecular-kinetic theory of gases are used in the work.

Thus, for i – th air mass components ($i = \overline{(1,3)}$) (random) change in its characteristics (Δm_i – mass, ΔT – temperature, ΔV – velocity) should be controlled and regulated (until this parameter becomes comfortable for the athlete in the building) by special control sensors (temperature, humidity, velocity of air

masses). In this case, based on the basics and principles of geometric control theory, the specified changes in the main characteristics of the building air masses and their reduction to comfortable (for athletes) values are as follows (m_i^K, T^K, V^K) should be determined and promptly eliminated using the following relationship:

$$\frac{\Delta m_i}{\left\{ \frac{\mu_i \cdot \tilde{V}}{R \cdot T^K} \right\}} + \frac{\Delta T}{\left\{ \frac{\mu_i \cdot \tilde{V}}{m_i^K \cdot R} \right\}} + \frac{\Delta V}{\left\{ \frac{1}{\rho_i \cdot V^K} \right\}} = 0, \quad (3)$$

where: μ_i – mass of 1 kg-mole of i – component, R – universal gaseous constant, ρ_i – compression of i – component, $\tilde{V}$ – the full internal volume of an indoor sports facility for artificial hypoxic training.

It should be noted that the geometrical image of relation (3) is a plane in the three-dimensional parameter variation space ($\Delta m_i, \Delta T, \Delta V$), that passes through the point (0; 0; 0), with orthonormal vector with components:

$$\vec{n} = \left\{ \frac{\mu_i \cdot \tilde{V}}{R \cdot T^K}; \frac{\mu_i \cdot \tilde{V}}{m_i^K \cdot R}; \frac{1}{\rho_i \cdot V^K} \right\}. \quad (4)$$

In swimming pools for sports swimming: 1) the air temperature is (25...29)⁰C, that is

$T^K = (298...302)^{0}K$; 2) water temperature – (25...27)⁰C; 3) relative humidity (denoted $m_{H_2O}^K$) constitutes (50...60)%; 4) the velocity of air masses does not exceed 0,3 m/s (that is $V^K \leq 0,3$ m/s).

Table 1 shows the calculations of $\frac{\Delta m_i}{m_i^K}, \frac{\Delta T}{T^K}, \frac{\Delta V}{V^K}$ changes for

$$\tilde{V} = 10^5 \text{ m}^3.$$

Table 1. The calculations of $\frac{\Delta m_i}{m_i K}$, $\frac{\Delta T}{T K}$, $\frac{\Delta V}{V K}$ changes for $\tilde{V} = 10^5 \text{ m}^3$

$\frac{\Delta m_i}{m_i K}$	$\frac{\Delta T}{T K}$	$\Delta V = 0$	$\frac{\Delta V}{V K}$
+1%	-1%	0	-
+2%	-2%	0	-
+3%	-3%	0	-
+5%	-5%	0	-
0%	+1%	-	-2,6%
0%	+2%	-	-5,2%
0%	+3%	-	-7,8%
0%	+5%	-	-13%

Conclusions

1. The use of the E. Lorentz air carousel allows in this study to apply the methods of fractal formalism and modeling to describe the behavior of such numerically irreducible systems.
2. It should be noted that for such technologies of air mass circulation (without the use of forced ventilation) in indoor sports facilities for hypoxic training of athletes, the method of determining the self-similarity area given above can serve as an analog of an indicator that constantly registers the approach of the determining parameter to one of the boundaries of the self-similarity area, thereby signaling the probability of a situation that leads to a sharp change in the direction of air circulation.
3. The presence of such technology for regulating the movement of air masses in a sports facility can also significantly reduce energy costs for the functioning of forced ventilation system in it.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest with respect to the current study, including financial, personal, authorial, or any other that could influence the study and the results presented in this document.

Funding

The study was conducted without financial support.

Data availability

All data are available in digital or graphical form in the main text of the article.

Use of artificial intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technology in the creation of the current work.

References

1. Platonov V.M. Suchasna systema sportyvnoho trenuvannia. – K.: Persha drukarnia, 2020. 704 s. {in Ukrainian}
2. U. Fuchs, I. Reib. Hohentraining. Trainer bibliotek. 27. – Philippka – Verlag, 1990. 127 p. {in German}
3. Wilber R.L. Altitude Training and Athletic Performance. - Champaing: Human Kinetics, 2004. 240 p. {in English}
4. Platonov V.N. Systema podhotovky sportsmenov v olymпыiskom sporte. Obshchaia teoriia y ee praktycheskoe prymerenye: uchebnyk dlia studentov vuzov fizycheskoho vospytanyia y sporta. - Kyev: Olymпыiskaia lyteratura, 2004. 808 s. {in Russian}
5. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature: monograph. – New York, San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1982. 480 p. {in English}
6. Bolshakov V., Volchuk V., Dubrov Yu. Fractals and properties of materials: monograph. – Saarbrucken: Lambert Academic Publishing, 2016. 140 p. {in English}
7. Bolshakov V.Y., Volchuk V.N., Dubrov Yu.Y. Osnovy orhanyzatsyy fraktalnoho modelyrovanyia: monohrafiia. – Kyev: Akademperyodyka, 2017. 170 s. {in Russian}
8. Lorenz E.N. Deterministic nonperiodic flow. Journal of the Atmospheric Sciences. 1963. V. 20. Iss. 20. P. 130-148. {in English}
9. Godel K. Uber formal unentscheidbare Satze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. I. Monatshefte für Mathematik und Physik. 1931. V. 38. P. 173-198. {in German}

Список літератури

1. Платонов В.М. (2020). Сучасна система спортивного тренування. К.: Перша друкарня. 704 с.
2. Fuchs U., Reib I. (1990). Hohentraining. Trainer bibliotek. 27. Philippka Verlag, 127 p.
3. Wilber R.L. (2004). Altitude Training and Athletic Performance. Champaing: Human Kinetics. 240 p.
4. Платонов В.Н. (2004). Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практическое применение: учебник для студентов вузов физического воспитания и спорта. К.: Олимпийская литература. 808 с.
5. Mandelbrot B.B. (1982). The Fractal Geometry of Nature: monograph. New York, San Francisco: W.H.Freeman and Company. 480p.
6. Bol'shakov V., Volchuk V., Dubrov Yu. (2016). Fractals and properties of materials: monograph. – Saarbrucken: Lambert Academic Publishing. 140p.
7. Большаков В.И., Волчук В.Н., Дубров Ю.И. (2017). Основы организации фрактального моделирования: монография. – Киев: Академперіодика. 170с.
8. Lorenz E.N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. Journal of the Atmospheric Sciences. V. 20. Iss. 20. P. 130-148.

9. Godel K. (1931). Uber formal unentscheidbare Satze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. I. Monatshefte fur Mathematik und Physik. V. 38. P. 173-198.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.10.2025	Received 14.10.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.11.2025	Received in revised form 15.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Ю.В. Човнюк

Кандидат технічних наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0608-0203>

Кафедра фізичного виховання і спорту

Київськи національний університет будівництва і архітектури, Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037

О. М. Шамич

Доктор психологічних наук, професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2188-2159>

Кафедра фізичного виховання і спорту

Київськи національний університет будівництва і архітектури, Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037

О. В. Приймаченко

Кандидат технічних наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5125-8472>

Кафедра міського будівництва

Київськи національний університет будівництва і архітектури, Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037

П. П. Чередніченко*

Доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-661X>

Кафедра міського будівництва

Київськи національний університет будівництва і архітектури, Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037

Є. О. Іванов

Доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1318-0472>

Кафедра іноземних мов і перекладу

Державний університет „Київський авіаційний інститут“, Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058

*автор-кореспондент, e-mail: petro_che@ukr.net

Фрактальний формалізм у ідентифікації спортивних споруд закритого типу як систем з частковим індетермінізмом

Цитувати як:

Човнюк, Ю.В.Б Шамич, О.М., Приймаченко, О.В., Чередніченко, П.П., Іванов, Є.О. (2025). Фрактальний формалізм у ідентифікації спортивних споруд закритого типу як систем з

частковим індетермінізмом. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 24, 651-663. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-54](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-54)

Анотація. В роботі розглянуті особливості функціонування і управління спортивними спорудами закритого типу, призначеними для здійснення штучного гіпоксичного тренувального процесу. Для ідентифікації подібних складних систем використовуються моделі різного типу в залежності від поставлених цілей. Складність вибору фізико-математичних моделей в даному випадку обумовлена складністю поведінки систем, що розглядаються, в різні моменти часу, на протязі якого можуть кардинально змінитись їх основні властивості. Використання повітряної каруселі Е. Лоренца дозволяє в даному випадку використати методи фрактального формалізму і моделювання для описування поведінки таких чисельно неприводимих систем. Наведено алгоритм визначення області самоподібності для досліджуваного об'єкту, що, в свою чергу, дозволяє понизити ймовірність порушення штатного режиму його роботи, конкретно: підтримання постійності статичної і динамічної складової парціального тиску кисню, необхідної вологості, швидкості і напрямку циркуляції потоку повітряних мас в даній споруді (без використання енергозахисної примусової вентиляційної системи). Розглянуті можливості використання фрактальних моделей і методів геометричної теорії управління для ідентифікації складних систем/спортивних споруд закритого типу, функціонуючих в енергозберігаючих режимах і призначених для проведення штучних гіпоксичних тренувань.

Зазначено, що для технологій циркуляції повітряних мас (що не використовують примусову вентиляцію) закритих приміщень, котрі призначені для гіпоксичних тренувань спортсменів, наведений вище метод визначення області самоподібності може слугувати аналогом індикатора, постійно реєструючого наближення визначального параметра до однієї з границь області самоподібності, й тим самим сигналізуючи про вірогідність виникнення ситуації, яка призведе до різкої зміни напрямку циркуляції повітряних мас у споруді.

Ключові слова: фрактальний формалізм, ідентифікація, спортивні споруди, системи з частковим детермінізмом, енергозберігаючі технології, методи геометричної теорії управління.

УДК 711.25

Д. В. Швидкий

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8369-271X>

Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури

Вінницький Національний Технічний Університет, Хмельницьке шосе 95, Вінниця, Україна, 21021

В. В. Швець

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0348-3610>

Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури

Вінницький Національний Технічний Університет, Хмельницьке шосе 95, Вінниця, Україна, 21021

В. М. Соколенко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5073-2694>

Кафедра Будівництва, урбаністики та просторового планування

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, Україна, 01042

К. В. Соколенко

PhD, ст. викл., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3334-7855>

Кафедра Будівництва, урбаністики та просторового планування

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, Україна, 01042

*автор-кореспондент, e-mail: 13wms13@ukr.net

Вплив зовнішніх факторів та часу на характеристики та стан матеріалів, що складають масив руйнації забудови

Цитувати як:

Швидкий, Д. В., Швець, В.В., Соколенко, В. М., Соколенко, К. В. (2025). Вплив зовнішніх факторів та часу на характеристики та стан матеріалів, що складають масив руйнації забудови. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 664-677. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-55](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-55)

© 2025, Швидкий Д. В., Швець В.В., Соколенко В. М., Соколенко К. В.

У статті проаналізовано вплив дії зовнішніх факторів та часу на характеристики і стан матеріалів, що складають масив руйнації забудови. Війна призвела до формування масштабних руйнувань, що охоплюють зони та територіальні утворення. Визначено, що масиви руйнації житлової забудови, сформовані внаслідок бойових дій, характеризуються складною структурою що поєднує залишки різнотипних матеріалів — бетону, металу, цегли, деревини, полімерів, скла та композитів. Після впливу високотемпературних, динамічних, хімічних і кліматичних чинників ці матеріали зазнають інтенсивних процесів деградації. З часом властивості таких матеріалів змінюються не лише через первинне руйнування, а й унаслідок вторинних процесів — корозії, карбонізації, гідратації, замерзання-відтавання, біодеструкції тощо. Виокремлено чинники, дія котрих припадає на первинний етап руйнувань — це вибухова дія та температурно теплові впливи при пожежі. Пасивне існування масиву руйнації під впливом

природно кліматичних факторів запускає часовий чинник деградації, що має кумулятивний ефект. Виділено три характерні часові етапи після руйнування – початковий, середньостроковий, довгостроковий. Визначено, що вплив часу має виключно негативний характер, що посилює дію негативних факторів – замочування, промерзання, корозія матеріалів, біологічна деструкція, хімічні реакції та ультрафіолетовий вплив сонця. Доведено, що кумулятивний вплив зовнішніх чинників формує значну складність і неоднорідність матеріалів масиву руйнування, що ускладнює можливість використання вторинних матеріалів у якості конструкційних. Обґрунтовано доцільність переважного використання вторинних будівельних відходів від руйнування будівель та споруд у завданнях вертикального планування та ландшафтних проектах. На прикладі Лисичансько - Сіверськодонецької агломерації в якості концепту запропоновано проект розширення баластного профілю доріг, що поєднують міста. Подібний концепт проекту має комплексний містобудівний характер, та спрямований на модернізацію локальної ділянки транспортно планувального каркасу агломерації. Його реалізація можлива на підставі відповідних рішень, внесених в генеральний план міста. Розуміння реологічних процесів зміни властивостей матеріалів масиву руйнування слугує основою для формування ефективних стратегій післявоєнного відновлення, зокрема — рішень щодо демонтажу, рециклінгу та повторного використання ВБВРБС

Ключові слова: місто, зруйновані території, реконструкція територій, відновлення, масив руйнувань, матеріали рециклінгу.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Бойові дії в Україні тривають вже четвертий рік. Обсяги руйнувань збільшуються з кожним днем. Відбудова зруйнованих будівель має місце у незначних обсягах, переважно точкова, та переважно у форматі відновлювального ремонту. Науковці, фахівці відзначають надзвичайний масштаб руйнувань, котрий охоплює зони та територіальні утворення. Також аналізуються тренди та сценарії відбудови в котрих розглядається можливість зміни функціонального призначення, типу та характеру забудови на територіях масштабної руйнації [1-3]. З об'єктивних причин наразі не аналізується вплив зовнішніх факторів та часу на зміну характеристик та стану матеріалів, конструкцій що складають масиви руйнації житлової забудови. В принципових моментах акцентується увага на безумовному погіршенні екологічного стану навколишнього середовища постраждалих міст [4-7]. Реологічні дослідження у будівництві завжди відносились до категорії складних, тому що у програму експерименту окрім набору досліджуваних факторів додається параметр часу. Масштабне коректне експериментальне дослідження в умовах сьогодення організувати та провести над складно. Більша частина досліджень, присвячена завданням та проблематиці вторинного використання будівельних відходів та вторинних відходів стосується ідеалізованих масивів відходів. В умовах функціонування

економіки мирного часу рециклінг розглядає об'єкти, підготовлені до переробки у плановому порядку. Автори виходять з припущення, що стан та характеристики масиву руйнування викликаного бойовими діями, та плановим розбиранням або демонтажем застарілого житлового фонду суттєво відрізняються.

Масиви руйнації житлової забудови, сформовані внаслідок бойових дій, характеризуються складною структурою з поєднанням залишків різнотипних матеріалів – бетону, металу, цегли, деревини, полімерів, скла та композитів. Після впливу високотемпературних, динамічних, хімічних і кліматичних чинників ці матеріали зазнають інтенсивних процесів деградації. З часом властивості таких матеріалів змінюються не лише через первинне руйнування, а й унаслідок вторинних процесів – корозії, карбонізації, гідратації, замерзання-відтавання, біодеструкції тощо. Для населених місць східних областей очікується четвертий зимовий період, коли підсилюється вплив кліматичних наслідків. Дослідження цих змін є критично важливим для прийняття рішень щодо можливості повторного використання фрагментів матеріалів, безпечного демонтажу або рекультивації територій [8-15].

Зовнішні фактори, що впливають на стан матеріалів, визначаються природно-кліматичними умовами та відсутністю будь-яких заходів стабілізації або консервації. В цих умовах не спрацьовує – час лікує. Для вторинних будівельних відходів від руйнації будівель та споруд (ВБВРБС) час означає пришвидшену зміну властивостей матеріалів, що складають масив руйнації [16-19].

Мета і завдання дослідження. Аналіз впливу зовнішніх факторів та часу на зміну характеристик та стану масивів руйнування, що утворились внаслідок бойових дій у містах сходу України.

Завданням дослідження є системний аналіз, як на морфологічний склад та структуру вторинних будівельних відходів від руйнації будівель та споруд впливає час, природно-кліматичні чинники, умови та наслідки руйнування, синергічний ефект поєднання різних факторів з точки зору можливості їх вторинного використання.

Матеріали та методи

У роботі використовуються теоретичні методи системного аналізу, аналітичного та містобудівного аналізу, засади реологічного аналізу зміни властивостей будівельних матеріалів, нормативно-правовий аналіз діючого законодавства.

При написанні статті використовувалась методологія багаторівневого міждисциплінарного підходу, що враховувала аналіз впливу чинників часу та природно-кліматичних факторів на масиви руйнувань, що вже декілька років перебувають у статичній фазі.

У роботі розглянуто в першу чергу якісний характер впливу руйнувань, впливу часу та природно-кліматичних факторів на характеристики масиву руйнації та можливості використання ВБВРБС у завданнях відбудови територій.

Інформаційну базу складають довідково-технічні літературні джерела, картографічні матеріали.

Особлива увага приділялася містам, територіальним утворенням суцільної руйнації, що розглядаються як єдині функціональні утворення у завданнях відбудови. Факторний аналіз зосереджено на містах, що вже декілька років знаходяться поза зоною господарського впливу.

Результати та обговорення

В умовах війни виникає одночасна дія негативних факторів. Раптовість, вибухова руйнація та пожежі, що її супроводжують. Населення евакуюється з домівок при тому полишає рештки меблів, книжок, побутової техніки, одягу, та навіть запасів продуктів – тобто широкий спектр органічних та неорганічних матеріалів та сполук. Ці масиви руйнування декілька років стоять просто неба. Можна виокремити чинники, дія котрих припадає на первинний етап руйнувань. Інші чинники завдають свого негативного впливу протягом часу.

Для первинного моменту руйнування будівель характерним окрім вибухової дії є температурно-тепловий вплив. Під час вибухів, пожеж або тривалого теплового впливу спостерігаються структурні зміни у бетонах та кладках, дегідратація цементного каменю при 200–400 °С призводить до втрати міцності та розшарування. Розклад гідросилікатів кальцію (C–S–H) понад 500 °С спричиняє зниження щільності, утворення мікротріщин. Випал цегли або перегрів може спричинити зміну кольору та мікропористість, зменшення адгезії розчинів. Деформації сталевій арматури понад 600 °С змінюють її структуру (зменшується границя текучості, знижується пластичність). Додатковим чинником є формування у масиві руйнації продуктів вигорання органіки – золи, попелу, сажі тощо.

Знаходження під відкритим небом призводить до замочування всього масиву атмосферними опадами. Вплив вологи триває всі періоди року. Підвищена вологість повітря, атмосферні опади та затоплення зруйнованих будівель викликають розчинення іонів солей, що утворюють висоли на поверхнях кладки й бетону, вимивання кальцію з цементного каменю, що знижує рН і активує процеси карбонізації, корозію арматури при наявності хлоридів або кисню, яка призводить до розриву захисного шару та просочення оксидів заліза у матеріали. Біологічне обростання (грибки, мохи, водорості) виникає в умовах вологи та дії сонця. Призводить до накопичення органіки, погіршує естетичні та фізичні властивості матеріалів. На рис.1 наведено реальні фото будинків, що зазнали руйнувань з міст Попасна, Рубіжне, Сіверськостанція, Бахмут. Фото ілюстративні та

взяті з відкритих джерел. Фотографії адекватно передають загальний стан, дозволяють узагальнити сценарії впливу дії чиннику часу та зовнішніх природно-кліматичних впливів.



Рис. 1. Зруйновані будинки у містах сходу України. Фактичний стан після руйнування у період 2022-2025 років

Сучасні домогосподарства насичені побутовою технікою, меблями, основу яких складають синтетичні матеріали високої хімії. Переважна кількість побутової техніки містить спеціальне маркування – заборону на викидання на смітник, окрема утилізація. Сучасні акумулятори є джерелом винятково небезпечних речовин. Вся ця складова, як вже відзначено, зазнала дії високих температур, загального структурного руйнування. Отже

хімічна агресія середовища є невидною, але небезпечною. Після вибухів і пожеж у масиві руйнації часто спостерігається підвищений рівень кислотності ґрунтів і води через продукти згоряння, нафтопродукти, сірчані сполуки. Кислотна корозія бетону — реакція з H_2SO_4 , HCl , NO_x призводить до утворення розчинних солей кальцію та руйнування цементної матриці. Лужна реакція заповнювачів (ASR) викликає розширення й тріщиноутворення у присутності лужних металів та вологи. Окиснення металів під дією атмосферного кисню та кислотних опадів прискорює деградацію сталевих елементів. Побутові рештки дають невизначений шлейф. Сонячна радіація впливає на можливі зміни у структурі полімерів, покриттів і навіть поверхневих шарів бетону через ультрафіолетове та радіаційне опромінення, що спричиняє деградацію полімерних зв'язків. Велика кількість пінопластових решток деградує на сонці.

Часовий чинник деградації формує кумулятивний характер процесів руйнування. З часом їхня інтенсивність або наслідки посилюються. Умовно можна виділити три часові етапи після руйнування:

Початковий етап (0–6 місяців). Активні реакції між відкритими поверхнями матеріалів і атмосферним середовищем. Інтенсивне вивільнення вологи, солей, пилу, зокрема токсичного (сажа, свинець, мікрочастинки цементу, поліуретановий пил).

Швидке охолодження та усадка бетону спричиняє мікротріщини і дезінтеграцію контактних зон.

Середньостроковий етап (6 місяців – 5 років). Поглиблення процесів карбонізації (зниження рН до 8–9 замість 12–13 у здоровому бетоні). Початок корозії арматури, особливо у зонах контакту з вологою. Розповсюдження сульфатної корозії, утворення етастрингіту, що збільшує об'єм матеріалу і викликає відшарування. У полімерних і фарбових покриттях спостерігається фотохімічна деградація, втрата кольору та адгезії.

Довгостроковий етап (понад 5 років). Руйнування структури цементного каменю, повна втрата зв'язку з заповнювачем. Вторинна корозія металів, що створює порожнини та знижує несучу здатність уламкових мас. Зміна ґрунтової основи через проникнення вологи та солей, що може викликати просідання або деформацію масиву руйнації. Біогенна активність (пліснява, бактерії, рослинність) руйнує залишки органічних матеріалів і сприяє ерозії кладки. Наразі більша частина міст знаходяться на другому етапі, але процеси деградації вже отримують сталий та незворотній характер.

Взаємодія факторів і синергетичні ефекти в реальних умовах призводять до комплексного впливу зовнішніх чинників. Так, наприклад комбінація вологи та морозу призводить до циклів розширення-замерзання, що збільшує об'єм тріщин та є відомим та загальним чинником руйнування. Корозія арматури та карбонізація бетону взаємо підсилюють одна одну –

зниження рН відкриває доступ кисню до металу. Солі з вологи можуть кристалізуватися в порах, викликаючи механічний тиск і руйнування (ефект сольової кристалізації). Забруднення нафтопродуктами або сірчаними сполуками посилює кислотну корозію бетону. Рослинність, що проростає у тріщинах, діє як механічний розширювач, збільшуючи глибину пошкоджень та сприяє накопиченню органіки.

Наслідки для реконструкції та вторинного використання матеріалів від дії часових чинників є виключно негативними. Зниження міцності та довговічності – більшість уламкових бетонів втрачає до 40–60 % первинної міцності через тривалу карбонізацію й корозію арматури. Зміна хімічної активності — матеріали стають більш гігроскопічними, кислотно-чутливими. Утворення токсичних домішок — унаслідок згоряння полімерів, фарб і ПВХ. Висока неоднорідність складу утруднює подальший рециклінг або використання як заповнювача без попереднього сортування й очищення. Пилова активність (мікросилікатні частинки, мікрометали) створює екологічні ризики при демонтажі. Включення пилових дисперсних домішок також змінює загальні параметри інертних груп матеріалів. Наявність хімічно активних сполук несе загрозу екологічного забруднення територій.

У зв'язку з цим необхідне проведення інженерно-екологічної діагностики, лабораторних досліджень і систематизації матеріалів перед повторним використанням. Реологічні дослідження у будівництві завжди відносились до категорії складних, у програму експерименту окрім набору досліджуваних факторів додається параметр часу. Автори виходять з припущення, що в межах магістерської однорічної програми провести коректний експеримент складно, оскільки він може охопити тільки першу стадію – початковий етап. Доцільно використовувати прогностичний метод аналізу, і вивчати висхідні умови та параметри. Типологічний аналіз дозволить визначати загальні тренди та базові наслідки впливу зовнішніх факторів та часу на властивості ВБВРБС. Конструкційні матеріали та вироби (класичний приклад бетон) повинні мати унормовані характеристики міцності та морозостійкості. Дослідження можливостей використання будівельного рециклату при виготовленні бетонів акцентують увагу на великий розкид фізико-механічних характеристик рециклату. Складно забезпечити потрібний клас бетону за умов нестабільного складу заповнювача. [20]. Дрібні та пилові піски, домішки глини, вапна, зольних включень, органіки суттєво впливають на характеристики бетонів та бетонних сумішей [21-23]. Рациональним варіантом вбачається використання масивів руйнації у завданнях вертикального планування та реалізації ландшафтних проєктів. Ці проєкти повинні бути інтегровані у містобудівні рішення, що поєднують розчищення зруйнованих територій, утилізацію ВБВРБС, реалізацію проєктів перспективного містобудівного відродження. На прикладі

Лисичансько - Сіверськодонецької агломерації в якості концепту можна розглянути проект розширення баластного профілю дороги, що поєднують міста (Рис.2).



Рис. 2. Фрагмент генплану міста Сіверськодонецьк, відрізок від т.з. павлоградського моста та синецького моста.

Відрізок дороги від павлоградського моста (рис.2, а,в) має довжину 1,38 км., різниця позначок профілю дороги та поверхні землі становить від 2,5 до 4 м. (52,2-52,4м. дорожнє полотно, 48,2-49,7м. низ насипу по рельєфу). Відрізок дороги від синецького моста (рис.2, б,г) має довжину 2,08 км., різниця позначок профілю дороги та поверхні землі становить до 4,5 м. (57-54м. дорожнє полотно, 50-52м. низ насипу по рельєфу). Обидві ділянки мають однополосне рішення, що є недостатнім для сполучення міст агломерації. Орієнтовний обсяг ВБВРБС що може бути задіяний в реалізації проекту розширення фрагменту автодороги становить 28,98 тис. м.куб та 56,16 тис. м. куб по першій та другій ділянці. Слід врахувати можливість збільшення обсягу відсіпки ВБВРБС за рахунок формування бічного резерву обочини. Також проект доцільно доповнити реконструкцією мостів

зі збільшенням їх вантажопідйомності та ширини (кількості полос руху) [3,24].

Подібний концепт проекту має комплексний містобудівний характер, до того ж спрямований на модернізацію локальної ділянки транспортно-планувального каркасу агломерації. Його реалізація можлива на підставі відповідних рішень, внесених в генеральний план міста.

Висновки

Вплив зовнішніх факторів та часу є визначальним у формуванні фізико-хімічного стану матеріалів масиву руйнації.

Найбільш руйнівними чинниками є волога, температурні коливання, солі та атмосферна агресія.

Час посилює ефект деградації, перетворюючи первинні дефекти на незворотні структурні зміни.

Комплексна оцінка стану матеріалів повинна включати польові обстеження, лабораторні тести та моніторинг у динаміці.

Розуміння цих процесів є основою для формування ефективних стратегій післявоєнного відновлення, зокрема — рішень щодо демонтажу, рециклінгу та повторного використання БВРБС.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Reconstructive Activity in the Context of Urban Life Cycle Phases. The Case of Ukrainian Cities / A. Pleshkanovska et al. ACE: Architecture, City and Environment. 2024. Vol. 18, no. 54. URL: <https://doi.org/10.5821/ace.18.54.12127>
2. Hush Yu. (2022). Pisliavoienna rozrukha. Yak vidnovliuvaly mista Yevropy pislia druhoi svitovoi. – Rezhym dostupu: <https://media.zagoriy.foundation/velyka-istoriya/pislyavoyenna-rozruha-yak-vidnovlyuvaly-mista-yevropy-pislya-drugoyi-svitovoyi/>
3. Sokolenko, K. V., Shvydkyi, D. V., Sokolenko, V. M., Morozenko, M. O. (2025). Mistobudivni zavdannia ta pryntsypy transformatsii planuvalno-transportnoho

karkasu urbanizovanykh terytorii skhodu Ukrainy. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi, Lutsk, LNTU, 2025. Vyp. 23 s.331-343

4. Shyshkin, E., Haiko, Yu., & Chernonosova, T. (2024). ShLIaKhY RETsYKLINHU BUDIVELNOHO SMITTia PID ChAS PISLIaVOIeNNOI VIDBUDOVY ZRUINOVANYKh MIST. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, (85), 679–697. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.679-697>

5. Zakopuvaty ne mozna, pererobljaty i vykorystovuvaty - navpaky. Jak derzhava vyrishuvatyme problemu vidhodiv vid rujnuvan' vijny. Oficijnyj portal Verhovnoi' Rady Ukrai'ny. URL: https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/247284.html (data zvernennja: 25.11.2025).

6. Eksperyment z kompleksnogo vidnovlennja naselenyh punktiv. Transparency International Ukraine - Znyzyty riven' korupcii'. URL: <https://ti-ukraine.org/research/eksperyment-z-kompleksnogo-vidnovlennya-naselenyh-punktiv-shho-vdalosya-za-rik/#section3> (data zvernennja: 25.11.2025).

7. Zvit pro priami zbytky infrastruktury vid ruinyvan vnaslidok viiskovoi ahresii Rosii proty Ukrainy stanom na pochatok 2024 roku. Kyiv : KSE Institute, 2024. 39 s. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf. (data zvernennia: 16.10.2024).

8. Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku : Rozporiadzh. Kab. Ministriv Ukrainy vid 08.11.2017 r. № 820-r : stanom na 17 veres. 2020 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-r#Text>.

9. Poriadok vykonannia robiv z demontazhu obektiv, poskodzhenykh abo zruinovanykh vnaslidok nadzvychaynykh6.sytuatsii, voiennykh dii abo terorystychnykh aktiv: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 19.04.2022 №474. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/474-2022-%D0%BF#Text>.

10. Pro upravlinnia vidkhodamy : Zakon Ukrainy vid 20.06.2022 № 2320-IX : stanom na 29 cherv. 2024 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (data zvernennia: 16.11.2024).

11. Dvorkin L. Y., Myronenko A. V. (2019). Budivelni materialy ta vyroby iz zastosuvanniam promyslovykh vidkhodiv : navch. posib. Rivne : NUVHP, 298 s.

12. Smal M.V. (2017). Svitovyi dosvid povtornoho vykorystannia betonu v budivelnomu vyrobnytstvi / M. V. Smal, O. V. Dziubynska, O. V. Shelkovych // *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, 7, 233-238.

13. Kondrashchenko E. V. (2013). O probleme horodov po yspolzovanyiu stroytelnykh otkhodov ot snosa zdanyi y sooruzheniy / E. V. Kondrashchenko, A. A. Kachura // *Komunalne hospodarstvo mist*, 107, 150–155.

14. O. R. Popovych (2013). Problemy utilizatsii ta pererobky budivelnnykh vidkhodiv / O. R. Popovych, Ya. M. Zakharko, M. S. Malovanyi // *Teoriia i praktyka budivnytstva*, 755, 321-324. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_755_60.

15. Shuvaiev A. (2021). Instrumentarii zaluchennia vidkhodiv budivnytstva ta znosu do povtornoho hospodarskoho tsykladu v konteksti yikh klasyfikatsiinykh oznak. *Hraal nauky*, 600–605.

16. Palii O. V. (2024). Pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky za rakhunok vprovadzhennia retsyklinhu vidkhodiv ruinatsii u vyrobnytstvo betonu: dys. ... d-ra filosofii. Zhytomyr, 256 s.

URL:

https://ztu.edu.ua/site/files/1/docs/Nauka/Aspirantura%20ta%20doktorantura/Razovi%20rady/2024/diss_Palii.pdf

17. Morkovska N. H., Abdelrahkhem A. (2019). Pererobka budivelnnykh vidkhodiv, shecho utvoruiutsia v Ukraini. *Komunalne hospodarstvo mist*, 147, 210–214.

18. Savytskyi M. V., Smyrnov A. S. (2023). Osoblyvosti vykorystannia podribnenoho betonnoho brukhtu v yakosti krupnoho zapovniuvacha dlia betonu. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, 6 (018), 111–117.

19. Savytskyi M., Smyrnov A. (2024). Vlastyvoli vtorynnykh krupnykh zapovniuvachiv, otrymanykh v rezultati podribnennia betonnykh vidkhodiv. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka*, (14), 19–28. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.19-28>.

20. Proektyrovanye zhelezobetonnykh konstruksyi : Spravochnoe posobyie / Pod redaktsiei d-ra tekhn. nauk A. B. Holysheva. Kyev : Budivelnnyk, 1985. 496 s., yl.

21. Semenov V. T. (2016). Pererobka budivelnnykh vidkhodiv v umovakh redevelopment mistykh terytorii / V. T. Semenov, E. A. Shyshkin, Yu. I. Haiko // *Arkhitekturnyi visnyk KNUBA*, 8–9, 248–256. ISSN 978-617-7185-03-0.

22. E. A. Shyshkin (2018. Retsyklinh budivelnnykh vidkhodiv / [E. A. Shyshkin, Yu. I. Haiko, K. I. Viatkin, A. O. Chala] // *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, 66, 654–666, ISSN 2076-815Kh

23. Shyshkyn Э. А. (2016). Retsykylnh stroytelnykh otkhodov / Э. А. Shyshkyn, Yu. Y. Haiko // *Economics, science, education: integration and synergy: materials of international scientific and practical conference* (Bratislava, 18–21 January 2016). : in 3 V. – V. 3 – K. : Publishing outfit «Centre of educational literature», 123–124.

24. Pro zastosuvannia vidkhodiv vyrobnytstva v dorozhnomu budivnytstvi : Rozporiadzhennia Kabinetu ministriv Ukrainy vid 04.12.2019 N 1420-r // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1420-2019-%D1%80#Text> (data zvernennia: 20.01.2021).

Література

1. Reconstructive Activity in the Context of Urban Life Cycle Phases. The Case of Ukrainian Cities / A. Pleshkanovska et al. *ACE: Architecture, City and Environment*. 2024. Vol. 18, no. 54. URL: <https://doi.org/10.5821/acc.18.54.12127>

2. Гуш Ю. (2022). Післявоєнна розруха. Як відновлювали міста Європи після другої світової. – Режим доступу: <https://media.zagoriy.foundation/velyka-istoriya/pislyavoyenna-rozruha-yak-vidnovlyuvaly-mista-yevropy-pislya-drugoyi-svitovoyi/>

3. Соколенко, К. В., Швидкий, Д. В., Соколенко, В. М., Морозенко, М. О. (2025). Містобудівні завдання та принципи трансформації планувально-транспортного каркасу урбанізованих територій сходу України. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, Луцьк, ЛНТУ, 2025. Вип. 23 с.331-343

4. Шишкін, Е., Гайко, Ю., & Черноносowa, Т. (2024). Шляхи рециклінгу будівельного сміття під час післявоєнної відбудови зруйнованих міст. *Містобудування та територіальне планування*, (85), 679–697. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.679-697>

5. Закупувати не можна, переробляти і використовувати - навпаки. Як держава вирішуватиме проблему відходів від руйнувань війни. *Офіційний портал*

Верховної

Ради

України.

URL: https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/247284.html (дата
25.11.2025).

звернення:

6. Експеримент з комплексного відновлення населених пунктів. *Transparency International Ukraine - Знизити рівень корупції*. URL: <https://ti-ukraine.org/research/eksperyment-z-kompleksnogo-vidnovlennya-naselenykh-punktiv-shho-vdalosya-za-rik/#section3> (дата звернення: 25.11.2025).

7. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. Київ : KSE Institute, 2024. 39 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf. (дата звернення: 16.10.2024).

8. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 08.11.2017 р. № 820-р : станом на 17 верес. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-r#Text>.

9. Порядок виконання робіт з демонтажу об'єктів, пошкоджених або зруйнованих внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів: Постанова Кабінету Міністрів України від 19.04.2022 №474. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/474-2022-%D0%BF#Text>.

10. Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX : станом на 29 черв. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 16.11.2024).

11. Дворкін Л. Й., Мироненко А. В. (2019). Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів : навч. посіб. Рівне : НУВГП. 298 с.

12. Смаль М.В. (2017). Світовий досвід повторного використання бетону в будівельному виробництві / М. В. Смаль, О. В. Дзюбинська, О. В. Шелкович // *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 7, 233-238.

13. Кондращенко Е. В. (2013). О проблеме городов по использованию строительных отходов от сноса зданий и сооружений / Е. В. Кондращенко, А. А. Качура // *Коммунальное хозяйство мѣст*, 107, 150–155.

14. О. Р. Попович, Я. М. Захарко, М. С. Мальований (2013). Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва*, 755, 321-324. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_755_60.

15. Шуваєв А. (2021). Інструментарій залучення відходів будівництва та зносу до повторного господарського циклу в контексті їх класифікаційних ознак. *Грааль науки*. С. 600–605.

16. Палій О. В. (2024). Підвищення екологічної безпеки за рахунок впровадження рециклінгу відходів руйнації у виробництво бетону : дис. ... д-ра філософії. Житомир, 256 с.

URL: https://ztu.edu.ua/site/files/1/docs/Найка/Аспірантура%20та%20докторантура/Разові%20ради/2024/diss_Palii.pdf

17. Морковська Н. Г., Абделрахем А. (2019). Переробка будівельних відходів, що утворюються в Україні. *Коммунальное хозяйство мѣст*, 147, 210–214.

18. Савицький М. В., Смирнов А. С. (2023). Особливості використання подрібненого бетонного брухту в якості крупного заповнювача для бетону. *Український журнал будівництва та архітектури*, 6 (018), 111-117.

19. Савицький М., Смирнов А. (2024). Властивості вторинних крупних заповнювачів, отриманих в результаті подрібнення бетонних відходів. *Будівельні*

конструкції. *Теорія і практика*, 14, 19–28. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.19-28>.

20. Проектирование железобетонных конструкций: Справочное пособие / Под редакцией д-ра техн. наук А. Б. Голышева. Киев : Будівельник, 1985. 496 с.

21. Семенов В. Т. (2016). Переробка будівельних відходів в умовах редевелопменту міських територій / В. Т. Семенов, Е. А. Шишкін, Ю. І. Гайко // *Архитектурний вісник КНУБА*, 8–9, 248–256. ISSN 978-617-7185-03-0.

22. Е. А. Шишкін (2016). Рециклінг будівельних відходів / [Е. А. Шишкін, Ю. І. Гайко, К. І. Вяткін, А. О. Чала] // *Містобудування та територіальне планування*, 66, 654–666, ISSN 2076-815X

23. Шишкін Э. А. (2016). Рециклинг строительных отходов / Э. А. Шишкин, Ю. И. Гайко // *Economics, science, education: integration and synergy: materials of international scientific and practical conference* (Bratislava, 18–21 January 2016). : in 3 V. – V. 3 – K.: Publishing outfit «Centre of educational literature», 123–124.

24. Про застосування відходів виробництва в дорожньому будівництві : Розпорядження Кабінету міністрів України від 04.12.2019 N 1420-р // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1420-2019-%D1%80#Text> (дата звернення: 20.01.2021).

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 16.11.2025	Received in revised form 16.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

D. V. Shvydkyi

Postgraduate student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8369-271X>

Department of Construction, Urban Planning and Architecture

Vinnitsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shosse, Vinnitsia, Ukraine, 21021

V. V. Shvets

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0348-3610>

Department of Construction, Urban Planning and Architecture

Vinnitsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shosse, Vinnitsia, Ukraine, 21021

V. M. Sokolenko*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5073-2694>

Department Of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 17 John Paul II Str., Kyiv, Ukraine, 01042

K. V. Sokolenko

Ph.D., Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3334-7855>

Department Of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 17 John Paul II Str., Kyiv, Ukraine, 01042

*corresponding author, e-mail: 13wms13@ukr.net

The influence of external factors and time on the characteristics and condition of materials that make up the destruction array of buildings

How to Cite:

Shvydkyi, D.V., Shvets V.V., Sokolenko, V.M., Sokolenko, K.V. (2025). The influence of external factors and time on the characteristics and condition of materials that make up the destruction array of buildings. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 664-677. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-55](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-55)

Abstract. The article analyzes the impact of external factors and time on the characteristics and condition of materials that make up the array of destroyed buildings. The war has led to large-scale destruction covering entire areas and territories. It has been determined that the ruins of residential buildings formed as a result of hostilities are characterized by a complex structure that combines the remains of different types of materials—concrete, metal, brick, wood, polymers, glass, and composites. After exposure to high temperatures, dynamic, chemical, and climatic factors, these materials undergo intensive degradation processes. Over time, the properties of such materials change not only due to primary destruction, but also as a result of secondary processes — corrosion, carbonization, hydration, freezing-thawing, biodestruction, etc. The factors that occur at the initial stage of destruction are explosive action and temperature and thermal effects during a fire. The passive existence of the destruction array under the influence of natural climatic factors triggers a time factor of degradation that has a cumulative effect. Three characteristic time stages after destruction have been identified: initial, medium-term, and long-term. It has been determined that the influence of time is exclusively negative, exacerbating the effects of negative factors such as soaking, freezing, corrosion of materials, biological destruction, chemical reactions, and the ultraviolet influence of the sun. It has been proven that the cumulative impact of external factors creates significant complexity and heterogeneity of the materials in the destruction area, which complicates the possibility of using secondary materials as structural materials. The expediency of the preferential use of secondary construction waste from the destruction of buildings and structures in vertical planning and landscaping projects has been substantiated. Using the example of the Lysychansk-Siverskodonetsk agglomeration, a project to expand the ballast profile of roads connecting cities has been proposed as a concept. This project concept is comprehensive in nature and aimed at modernizing the local section of the agglomeration's transport planning framework. Its implementation is possible on the basis of relevant decisions included in the city's master plan. Understanding the rheological processes of changing the properties of materials in the destruction zone serves as the basis for the formation of effective post-war recovery strategies, in particular, decisions on the dismantling, recycling, and reuse of secondary construction waste.

Keywords: city, destroyed areas, reconstruction of areas, restoration, destruction zone, recycled materials

УДК 625.7

О.П. Шимчук*

к.т.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0002-0564-2673>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018

В.О. Процюк

к.т.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0003-2644-9490>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018

Л.О. Талах

к.т.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0002-4643-5582>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018

С.Я. Дробишинець

к.т.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0002-9060-7716>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: shimchukop@gmail.com

Вплив інженерного облаштування вулиць та доріг на безпеку пішоходів і велосипедистів

Цитувати як:

Шимчук, О.П., Процюк, В.О., Талах, Л.О., Дробишинець, С.Я. (2025). Вплив інженерного облаштування вулиць та доріг на безпеку пішоходів і велосипедистів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 678-686. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-56](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-56)

© 2025, Шимчук О.П., Процюк В.О., Талах Л.О., Дробишинець С.Я.

Дана стаття носить оглядовий характер. У статті наведено роль інженерного облаштування вулиць і доріг як одного з ключових чинників забезпечення безпеки пішоходів і велосипедистів у сучасному просторі міста. Здійснено огляд нормативної бази України та порівняно з європейськими підходами, які ґрунтуються на різних концепціях. Представлено, що ефективна система безпеки на дорогах має поєднувати інженерні, екологічні та соціальні аспекти, що спрямовані на створення комфортного простору для всіх учасників дорожнього руху.

Особливу увагу приділено екологічним аспектам проєктування та експлуатації вулично-дорожньої мережі. Зокрема, розглянуто проблему зимового утримання вулиць і вплив протиможезедних матеріалів на довкілля та безпеку дорожнього руху за результатами дослідження, представленого в [12]. Визначено, що екологічно орієнтоване управління експлуатаційними процесами може значно знизити негативний вплив на ґрунти, водні ресурси та зелені насадження, одночасно підвищуючи безпеку учасників дорожнього руху.

У роботі проаналізовано актуальні проблеми розвитку української транспортної інфраструктури – застарілі підходи до проєктування, недостатнє

фінансування, обмежену інтеграцію велосипедної мережі та низький рівень громадської участі. Водночас окреслено перспективні напрями модернізації: імплементацію європейських стандартів безпеки, створення комплексних програм розвитку сталої мобільності, цифровий моніторинг небезпечних ділянок і підготовку нової генерації інженерів та урбаністів.

Зроблено висновок, що підвищення безпеки пішоходів і велосипедистів можливе лише за умов поєднання інженерних інновацій, екологічної відповідальності та системного управління міським простором. Реалізація цих підходів сприятиме формуванню безпечних, екологічно збалансованих і людиноцентричних вулиць в українських містах.

Ключові слова: інженерне облаштування, безпечна вулиця, пішохід, велосипедист, дорожня інфраструктура, екологічна безпека, зимове утримання, сталий розвиток.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. На сьогоднішній день міста України переживають активний період перебудови вулиць і доріг. Через значні руйнування від військових дій великого значення набуває питання безпеки для пішоходів і велосипедистів в умовах їх відбудови. Від рівня інженерного облаштування вулиць і доріг, їхньої організації, забезпечення технічними засобами регулювання дорожнього руху, освітлення, водовідведення та благоустрою, значною мірою залежить не тільки комфорт пересування, але й здоров'я та життя учасників дорожнього руху.

Статистика Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) за 2023р.свідчить про те, що пішоходи та велосипедисти становлять більше 25% всіх загиблих у дорожньо-транспортних пригодах у світі [1]. Згідно останньої доповіді цієї організації про стан безпеки дорожнього руху в світі за 2023 р., кількість смертей внаслідок дорожньо-транспортних пригод в період з 2010 р. зменшилася приблизно на 5%. «Показники трагічної смертності внаслідок дорожньо-транспортних пригод рухаються в правильному напрямку – вниз, але далеко не так швидко, як слід, – заявив Генеральний директор ВООЗ д-р Тедрос Адханом Гебрейесус. Масовий загибелі людей на наших дорогах можна запобігти. Ми закликаємо всі країни зробити людей, а не автомобілі, центральним елементом своїх транспортних систем та забезпечити безпеку пішоходів, велосипедистів та інших уразливих учасників дорожнього руху» [2].

В Україні, на превеликий жаль, також значна частина ДТП відбувається у межах населених пунктів, в яких спостерігається відсутність або недосконалість елементів інженерного облаштування. Статистичні дані МВС України по ДТП за 2024 рік свідчать, що наїзд на пішохода становить 26,7 % від загальної кількості ДТП [3]. Тому, необхідно змінювати підходи до планування та проектування міських вулиць та доріг з метою не тільки

збільшити пропускну здатність транспортних потоків, а забезпечити, в першу чергу, безпеку вразливих учасників дорожнього руху.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи було узагальнення сучасних підходів до інженерного облаштування вулиць та доріг і визначення їх впливу, в першу чергу, на безпеку пішоходів і велосипедистів. У роботі наведено приклади українських та закордонних практик, розглянуто технічні, екологічні та соціальні аспекти безпеки.

Завданням дослідження є виявлення основних інженерних рішень, за допомогою яких можливе зниження аварійності та підвищення комфорту пішоходів на вулицях і дорогах, велосипедистів та інших уразливих учасників дорожнього руху.

Матеріали та методи

Для підготовки оглядового дослідження було проведено аналіз світового досвіду впливу інженерного облаштування вулиць і доріг на безпеку дорожнього руху, яке використовується на автомобільних дорогах. Основу матеріалів склали наукові публікації, нормативна та довідкова література, присвячена проектуванню та експлуатації вулично-дорожньої мережі.

Методологічно, для вирішення поставлених завдань, використано системний підхід, який задовольняє соціальну, екологічну та безпекову складові, завдяки комплексному використанню інженерного облаштування вулиць і доріг.

Результати та обговорення

Інженерним облаштуванням вулиць і доріг прийнято називати сукупність рішень, які спрямовані на те, щоб забезпечити комфортні та безпечні умови для всіх учасників дорожнього руху. До таких рішень відносимо технічні, архітектурні та організаційні. Відповідно до [4], до елементів інженерного облаштування належать системи освітлення, дорожні знаки, дорожня розмітка, засоби заспокоєння руху, світлофорні об'єкти, дорожні огороження, тротуари та пішохідні доріжки, пішохідні переходи, велосипедні доріжки та переїзди, водовідвідні системи та інші технічні засоби організації дорожнього руху.

Вищевказані елементи безпосередньо впливають на безпеку пішоходів і велосипедистів. Наприклад, наявність острівців безпеки на пішохідних переходах скорочує число ДТП на 25-30%, а відповідне освітлення зменшує ризик наїзду на пішохода в темну пору доби на 55-60%. Розділення транспортних потоків шляхом влаштування велосмуг або фізичних бар'єрів дозволяє мінімізувати конфліктні точки між автомобілями та велосипедистами.

Досить важливими в цьому плані є засоби заспокоєння руху, а саме: підвищені пішохідні переходи, звуження смуг руху, розширення зон для

парковки, штучні нерівності і т.д. Такі рішення «примусять» водіїв до зниження швидкості, підвищення рівня уважності в тих місцях, де підвищений рух пішоходів, велосипедистів та інших уразливих верств населення.

Також інженерне облаштування допомагає психологічно налаштувати учасників дорожнього руху на прогнозованість різних ситуацій. Якщо на вулиці інженерне облаштування запроектовано вдало, то людина інтуїтивно може передбачити свою поведінку, зокрема, в яких місцях можна переходити дорогу, звідки очікувати транспорт і т.д. Це має важливе значення в умовах щільної міської забудови, коли допущення в проєктуванні навіть незначних помилок, може призвести до небезпечних наслідків.

Дослідження Європейської ради з безпеки на транспорті (ETSC, 2022) дозволяють стверджувати, що якщо реалізувати заходи з інженерного облаштування комплексно, то можливо скоротити число ДТП із пішоходами та велосипедистами на 40% та 50% відповідно [5].

У ХХІ столітті світова урбаністика все більше переходить від концепції міста, в якому автомобілі мають перевагу до моделі простору, де перевагу має людина. Такий підхід входить в концепцію «Complete Streets» - «вулиць для всіх», які забезпечують безпечне пересування для пішоходів, водіїв транспортних засобів, велосипедистів, водіїв громадського транспорту чи тих, які займаються доставкою товару [6]. Основна ідея заключається в тому, що не лише якісне дорожнє покриття забезпечує безпеку вулиці, а ціла система взаємопов'язаних інженерних, архітектурних і соціальних рішень.

У деяких країнах Європи безпечне інженерне облаштування вулиць і доріг стало основним стандартом міського планування.

Копенгаген (Данія) – це один із найуспішніших прикладів впровадження велосипедної інфраструктури у міську систему. Кількість велосипедного транспорту в місті становить більше 40%, завдяки смугам, виділеним суто для велосипедистів та системам переваги велосипедистів на світлофорах [7].

Варшава (Польща) реалізує програму «Bezpieczne skrzyżowania» («Безпечні перехрестя»), яка включає «регулярні поліцейські дії спрямовані на забезпечення безпеки вразливих учасників дорожнього руху та дисциплінування взаємодії між водіями та пішоходами. Ці дії мають на меті покращити безпеку та обізнаність усіх учасників дорожнього руху, уникнути зіткнень та аварій, що сталися внаслідок необережної поведінки та незнання правил дорожнього руху» [8].

Барселона (Іспанія) впровадила програму «Superblocks». Відповідно до цієї програми у внутрішніх кварталах рух автомобілів обмежують, а перевагу надають в основному для пішоходів і велосипедистів [9].

В Україні також набирає популярності створення безпечних вулиць і доріг [10].

В Україні, концепцію, де передбачено формування мережі окремих велосипедних доріжок та їх передбачення при розробці нових проектів для реконструкції вулиць, першим створив Львів.

Київ упроваджує концепцію «вулиць спокійного руху» – розширення тротуарів, облаштування пішохідних зон, створення островців безпеки та встановлення сучасних світлофорів, обладнаних сенсорними кнопками.

Вінниця активізувалася на розвитку інтелектуальних транспортних систем, які дозволяють адаптувати світлофорні об'єкти відповідно до інтенсивності руху.

Івано-Франківськ відомий своєю політикою створення вуличного простору без бар'єрів, яка спрямована на надання пріоритету пішоходам і велосипедистам.

Як показує практика, Луцьк теж доволі активно долучається до розбудови велосипедної інфраструктури. Оскільки, як зазначається в [11], велотранспорт являється екологічно чистим та здоровим способом пересування.

Інженерне облаштування вулиць і доріг впливає не лише на безпеку руху, а й на екологію. Сучасні підходи до формування безпечних вулиць орієнтуються на принципи сталого розвитку, де екологічна рівновага, безпека руху, комфорт і якість життя мешканців розглядаються як єдина система, елементи якої взаємопов'язані.

Використання озеленення вздовж магістралей, енергоефективного освітлення, облаштування шумозахисних екранів та систем поверхневого водовідведення – це ті інженерні рішення, які поєднують безпеку та екологічну доцільність.

Особливу увагу необхідно приділити екологічному аспекту зимового утримання вулиць і доріг, як впливають існуючі протиожеледні матеріали та заходи на навколишнє природне середовище, здоров'я людей та безпеку дорожнього руху.

Як зазначається в [12], надмірне чи неконтрольоване застосування піщано-сольових сумішей і хімічних реагентів призводить до зниження родючості ґрунтів, пошкодження кореневої системи зелених насаджень та зниження довговічності дорожніх покриттів.

З соціальної точки зору, вдало запроектовані вулиці сприяють розвитку громадських просторів, заохоченню пішохідних і велосипедних пересувань, а це позитивно впливає на здоров'я людей, знижує рівень транспортного шуму та стресу.

В Україні стан інженерного облаштування вулиць і доріг характеризується одночасними позитивними зрушеннями та низкою системних проблем, які стримують зростання рівня безпеки для пішоходів і велосипедистів.

Наявність діючих нормативних документів, не в повній мірі, дозволяє в більшості міст України їх практично застосувати.

Важливими проблемами, які впливають на реалізацію комплексних програм безпечного облаштування вулиць і доріг є нестача чи відсутність фінансування; застарілі підходи до проектування.

Україна може, та має потенціал стати прикладом сучасного підходу до формування безпечного міського простору.

Серед перспективних напрямів: використання для українських міст досвіду інших країн, які розглядалися вище; створення державної програми підтримки велосипедної інфраструктури; новий підхід до проектування вулиць і доріг; взаємозв'язок між громадами, науковими установами, міжнародними та громадськими організаціями для реалізації проєктів.

Висновки

Інженерне облаштування вулиць і доріг є важливим чинником для формування їх комфорту, безпеки, в тому числі екологічної. Від вдалих технічних рішень: встановлення дорожніх знаків, освітлення, нанесення дорожньої розмітки, влаштування систем водовідведення, острівців безпеки чи елементів благоустрою, велосипедних та пішохідних доріжок, напрямку залежатиме рівень дорожньо-транспортного травматизму, мобільність населення та загальна якість життя містян.

Вищезазначені підходи дозволяють стверджувати, що найефективнішими системами безпеки виявляються ті, які поєднують інженерні, соціальні та екологічні складові.

Приклади європейських практик показують результативність своїх концепцій, які спрямовані на зменшення кількості загиблих на дорогах і створення безпечного середовища для всіх учасників. Деякі міста України (Львів, Київ, Вінниця, Івано-Франківськ), роблять важливі кроки в даному напрямку, проте подальший прогрес вимагає системного підходу, оновлення діючої нормативної бази та стабільного фінансування.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. WHO. Global Status Report on Road Safety 2023. – Geneva: World Health Organization, 2023.
2. WHO report. (2023). <https://www.who.int/news/item/13-12-2023-despite-notable-progress-road-safety-remains-urgent-global-issue>
3. The Ministry of Internal Affairs announced traffic accident statistics for 2024. (2024). <https://mvs.gov.ua/news/u-mvs-ozvucili-statistiku-dtp-za-2024-rik>
4. DBN V.2.3-5:2018. Streets and roads of settlements. – Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 2018. – 58p.
5. European Transport Safety Council (2022). Safe Streets for All: Urban Road Safety in Europe. Brussels.
6. The streets are full. https://en.wikipedia.org/wiki/Complete_streets
7. Cycling: What Copenhagen Can Teach Us? (2014). <https://u-cycle.org.ua/news/velotransport-chomu-mozhe-navchyty-kopenhagen/>
8. Safe intersections. <https://chorzow.policja.gov.pl/ka5/ruch-drogowy/bezpieczenstwo-piesznych/225077,Bezpieczne-skrzyzowania.html>
9. Implementing the Superblocks program in Barcelona: Bringing our streets to life. (2018). <https://www.c40.org/case-studies/barcelona-superblocks/>
10. Official portals of city councils (Lviv, Kyiv, Vinnytsia, Ivano-Frankivsk) – data on the implementation of safe street construction projects, 2020–2024.
11. Cycling in Lutsk: Is the city ready for change? (2024). <https://algorytm.ngo/articles/velorukh-u-lutsku-chy-hotove-misto-do-zmin>
12. Shymchuk O.P. The impact of deicing materials for winter road maintenance on the environment and road safety / O.P. Shymchuk// Urban planning and territorial planning. Scientific and Technical Collection. – Kyiv, KNUBA, 2014. Issue No. 54, pp. 486-490.

Література

1. WHO. Global Status Report on Road Safety. (2023). Geneva: World Health Organization.
2. Звіт ВООЗ. (2023). <https://www.who.int/news/item/13-12-2023-despite-notable-progress-road-safety-remains-urgent-global-issue>
3. У МВС озвучили статистику ДТП за 2024 рік. (2024). <https://mvs.gov.ua/news/u-mvs-ozvucili-statistiku-dtp-za-2024-rik>
4. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. – 58с.
5. European Transport Safety Council (2022). Safe Streets for All: Urban Road Safety in Europe. Brussels.

6. Повні вулиці. https://en.wikipedia.org/wiki/Complete_streets
7. Велотранспорт: Чому може навчити Копенгаген? (2014). <https://U-Cycle.Org.Ua/News/Velotransport-Chomu-Mozhe-Navchyty-Kopenhagen/>
8. Безпечні перехрестя. <https://chorzow.policja.gov.pl/ka5/ruch-drogowy/bezpieczenstwo-piesznych/225077,Bezpieczne-skrzyzowania.html>
9. Впровадження програми Superblocks у Барселоні: Наповнюючи наші вулиці життям. (2018). <https://www.c40.org/case-studies/barcelona-superblocks/>
10. Офіційні портали міських рад (Львів, Київ, Вінниця, Івано-Франківськ) – дані про реалізацію проєктів безпечного облаштування вулиць, 2020–2024.
11. Велорух у Луцьку: чи готове місто до змін? (2024). <https://algorytm.ngo/articles/velorukh-u-lutsku-chy-hotove-misto-do-zmin>
12. Шимчук О.П. (2014). Вплив протижелезних матеріалів для зимового утримання доріг на навколишнє середовище та безпеку дорожнього руху. Містобудування та територіальне планування, 54, 486–490.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 15.11.2025	Received 15.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 17.11.2025	Received in revised form 17.11.2025
Прийнято 21.11.2025	Accepted 21.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

O.P. Shymchuk*

PhD, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-0564-2673>
Department of Civil Engineering and Construction
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

V. O. Protsyuk

PhD, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-2644-9490>
Department of Civil Engineering and Construction
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

L.O. Talakh

PhD, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-4643-5582>
Department of Civil Engineering and Construction
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018 Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine, 43018

S.Y. Drobyshynets

PhD, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-9060-7716>
Department of Civil Engineering and Construction
Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018 Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: shimchukop@gmail.com

The impact of engineering design of streets and roads on the safety of pedestrians and cyclists

How to Cite:

Shymchuk O.P., Protsyuk V.O., Talakh L.O., Drobyshynets S.Y. (2025). The impact of engineering design of streets and roads on the safety of pedestrians and cyclists. *Modern technologies and*

calculation methods in construction, 24, 678-686. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-56](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-56)

Abstract. The article examines the role of engineering design of streets and roads as one of the key factors in ensuring the safety of pedestrians and cyclists in modern urban space. The regulatory framework of Ukraine is reviewed and compared with European approaches based on different concepts. It is presented that an effective road safety system should combine engineering, environmental and social aspects aimed at creating a comfortable space for all road users.

Particular attention is paid to the environmental aspects of the design and operation of the street and road network. In particular, the problem of winter street maintenance and the impact of deicing materials on the environment and road safety are considered based on the results of the study presented in [11]. It is determined that environmentally oriented management of operational processes can significantly reduce the negative impact on soils, water resources and green spaces, while simultaneously increasing the safety of road users.

The paper analyzes the current problems of the development of Ukrainian transport infrastructure – outdated approaches to design, insufficient funding, limited integration of the bicycle network and low level of public participation. At the same time, promising areas of modernization are outlined: implementation of European safety standards, creation of comprehensive programs for the development of sustainable mobility, digital monitoring of dangerous areas and training of a new generation of engineers and urban planners.

It is concluded that improving the safety of pedestrians and cyclists is possible only if engineering innovations, environmental responsibility and systemic management of urban space are combined. The implementation of these approaches will contribute to the formation of safe, environmentally balanced and people-centered streets in Ukrainian cities.

Keywords: engineering arrangement, safe street, pedestrian, cyclist, road infrastructure, environmental safety, winter maintenance, sustainable development.

УДК 692.9

М. Я. Шпінталь

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9864-7050>

Кафедра комп'ютерних наук

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

М. В. Буряк*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-1498>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

О. П. Захарчук

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

В. М. Мартенюк

викладач, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0032-8414>

Кафедра транспорту і логістики

Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, Тернопіль, Україна, 46009

С. В. Синій

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3913-6725>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: burjak74@ukr.net

Аналіз застосування Archicad та Revit у проєктуванні інженерних мереж

Цитувати як:

Шпінталь, М. Я., Буряк, М. В., Захарчук, О. П., Мартенюк, В. М., Синій, С. В. (2025). Аналіз застосування Archicad та Revit у проєктуванні інженерних мереж. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 687-697. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-57](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-57)

© 2025, Шпінталь М. Я., Буряк М. В., Захарчук О. П., Мартенюк В. М., Синій С. В.

Наведено результати аналізу застосування програмних продуктів Autodesk Revit MEP і Graphisoft Archicad MEP Modeler у процесі проєктування інженерних мереж будівель у середовищі BIM. Метою дослідження є встановлення переваг та обмежень, доцільності застосування кожної з платформ залежно від особливостей об'єкта проєктування. Проаналізовано параметричний підхід до моделювання, функцію автоматичної перевірки на конфлікти (колізії), здатність генерувати робочу документацію, сумісність з іншими BIM-системами завдяки використанню формату IFC, а також роботу з бібліотеками стандартних елементів та параметричних об'єктів. Revit MEP демонструє вищий рівень автоматизації розрахунків, точності моделювання та глибини параметризації інженерних систем. Він дозволяє проводити повноцінне MEP-проєктування, підтримує гідравлічні, теплотехнічні та електротехнічні розрахунки, а також дає змогу проводити ефективну командну роботу через платформи BIM 360 і

Worksharing. Великий об'єм вбудованих бібліотек інтегрованих з офіційними базами виробників, дозволяє створювати високоточні моделі систем ОВК, ВК, електромереж. Archicad MEP Modeler має перевагу у точності, візуалізації, інтеграції з архітектурною моделлю, що робить його зручним для архітектурно-інженерних робіт. Проте його можливості розрахунку інженерних систем є обмеженими і більшість технічних параметрів потребують експорту до спеціалізованих зовнішніх систем. Archicad підтримує обмін даними у форматі IFC, що сприяє сумісності в межах концепції Open BIM, але кількість і деталізація бібліотечних елементів поступаються Revit. Отримані результати свідчать, що Revit MEP є ефективним рішенням для великих і громіздких інженерних систем, де важлива автоматизація їх технічних і технологічних розрахунків, точність і координація між фахівцями. Archicad доцільно застосовувати для типових інженерних систем або у складі архітектурного проектування. Висока продуктивність проектування досягається при синергії Revit для детального проектування інженерних мереж і Archicad для їх архітектурної узгодженості, з обов'язковим подальшим обміном даними моделі через формат IFC.

Ключові слова: BIM-технології, Revit MEP, Archicad MEP Modeler, інженерні мережі, параметричне моделювання, автоматизація проектування, методологія.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Сучасна будівельна галузь вимагає обов'язкової інтеграції технологій BIM, які забезпечують результативне керування проектними даними протягом усього життєвого циклу об'єкта [1-10]. Ключовим аспектом застосування BIM є створення моделей інженерних систем, зокрема: ВК (водопостачання та каналізації – W&C), ОВК (опалення, вентиляції, кондиціонування – HVAC), електропостачання (EOM). Доведено, що впровадження BIM у сферу MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) може значно скоротити час на виявлених колізій, пришвидшити загальний час проектування [1, 5]. Найпоширеніші у професійному моделюванні інженерних мереж програмні забезпечення (ПЗ) Archicad (Graphisoft) і Revit (Autodesk) [11-13]. Отже, проблема вибору оптимальної системи для проектування є актуальною і залежить від конкретних вимог проекту, потреби розрахунків та особливостей міждисциплінарної взаємодії фахівців.

Мета і завдання дослідження. Основна мета полягає у всебічному порівнянні функціоналу програмних рішень Revit та Archicad у контексті BIM-проектування інженерних мереж. Аналіз враховує їхні розрахункові, колаборативні та ключові функціональні особливості. Дослідження сфокусоване на ефективності застосування цих платформ для моделювання інженерних мереж (W&C, HVAC, EOM), на оцінці рівня автоматизації робочих процесів і достовірності кінцевих результатів. Проведено аналіз функцій обох ПЗ, виявлення їхніх сильних сторін та обмежень, дослідження можливостей інтеграції через формат IFC, а також оцінку важливості бібліотек компонентів для формування високоякісного BIM-контенту [8].

Ключовим завданням є обґрунтування ефективних умов використання кожного ПЗ (Archicad та Revit) у BIM-проектуванні інженерних мереж залежно від специфіки проекту та умов доцільності комбінування цих ПЗ.

Матеріали та методи

Дослідження проводилося на базі аналізу функціональних можливостей та практичного застосування двох ключових програмних комплексів BIM: Autodesk Revit (версії 2025), що використовувався як основний інструмент для моделювання інженерних систем (MEP), зокрема W&C, HVAC, EOM та Graphisoft Archicad (версії Archicad 27) [11-13], який застосовувався для моделювання архітектурно-будівельної частини та забезпечення координації із зовнішніми інженерними моделями. Як додаткові матеріали слугували проектна документація типового цивільного об'єкта, науково-технічна література з BIM-технологій та інженерного проектування, а також бібліотеки параметричних компонентів (сімейства Revit та об'єкти GDL Archicad) для інженерних систем.

Результати та обговорення

Однією з критично важливих переваг впровадження BIM-контенту є механізм автоматизованого виявлення колізій (Clash Detection) між різнорідними інженерними системами, включно з W&C, HVAC, EOM. Спеціалізоване програмне забезпечення, таке як Revit або Navisworks, надає можливість верифікувати просторові конфлікти у режимі реального часу, забезпечуючи їх усунення на пре-конструктивній стадії проектування. Зазначена функція суттєво редукує ризики виникнення помилок у процесі монтажу, скорочує фінансові витрати на подальші коригування, переробки.

BIM-контент характеризується інтеграцією не лише геометричних, але й розширених технічних параметрів об'єктів (атрибутів), до яких належать: матеріал виготовлення; номінальний діаметр; робочі параметри та властивості (тиск, витрата, температура, теплопровідність, в'язкість тощо); електричне навантаження; тип з'єднання тощо. Завдяки цьому цифрова модель функціонує як комплексна інформаційна база, що дає змогу автоматизовано генерувати необхідний комплект проектної документації: креслення, специфікації та технічні звіти. Високий ступінь деталізації та точності моделі сприяє підвищенню якості проектної документації та її відповідності міжнародним стандартам, зокрема [14, 15].

BIM-середовище забезпечує ефективну міждисциплінарну роботу фахівців – архітекторів, інженерів, конструкторів і представників замовника – на основі єдиної централізованої моделі. Кожен учасник проекту отримує доступ до актуалізованих даних, що мінімізує ймовірність дублювання інформації та виникнення неузгодженостей. Застосування хмарних платформ (наприклад, BIM 360, Bimplus, Trimble Connect) дозволяє

оперативно координувати зміни, здійснювати контроль версій файлів та приймати консолідовані технічні рішення в динамічному режимі [7, 8].

Після фіналізації стадії проектування, сформований BIM-контент може бути трансферований на етап будівництва для цілей планування монтажних робіт, оптимізації логістичних процесів, формування кошторисної документації та контролю виконання робіт, енергоаудиту. На стадії експлуатації об'єкта ці інформаційні дані інтегруються із системами управління технічним обслуговуванням (FM – Facility Management), що уможлиблює ведення електронного паспорта будівлі, моніторинг технічного стану обладнання та планування профілактичних і капітальних ремонтів, заходів з енергоефективності, а також є кроком до формування та розвитку за [16, 17] "розумних" та "інтелектуальних" інженерних систем.

Функціонал проектування інженерних мереж у Archicad реалізовано через спеціалізований модуль MEP Modeler, який дозволяє створювати 3d-моделі систем W&C, HVAC, EOM. Ключовою перевагою цього рішення є його глибока інтеграція з архітектурною моделлю та забезпечення високої якості візуалізації. Програмний продукт повною мірою підтримує формат IFC, що істотно спрощує процеси обміну даними та координацію з іншими BIM-середовищами. Гнучкий та точний для розрахунків будівель Archicad дещо обмежений для MEP [3], адже більшість складних параметричних обчислень вимагають експорту моделі до зовнішнього спеціалізованого ПЗ.

Revit MEP орієнтований на нормативне інженерне проектування [3], деталізовані автоматизовані гідро-, тепло-, електротехнічні розрахунки, функції балансування систем, верифікацію колізій у режимі реального часу, а також генерацію необхідних специфікацій та планів. Крім того, Revit володіє потужним інструментарієм для спільної роботи через платформи BIM 360 або механізм Worksharing. До недоліків системи варто віднести підвищені вимоги до апаратних ресурсів робочих станцій та складність початкового освоєння інтерфейсу для нових користувачів.

У таблиці 1 наведено узагальнене порівняння можливостей програм для проектування інженерних мереж [11-13]. Revit характеризується наявністю об'ємніших та якісніше опрацьованих бібліотек матеріалів та компонентів, призначених для проектування інженерних мереж, порівняно з Archicad. Ця перевага детермінована тим, що модуль Revit MEP був спеціально розроблений для комплексного моделювання інженерних систем [10, 11]. Отже, його бібліотечні фонди цілеспрямовано орієнтовані на потреби HVAC, W&C, EOM, освітлення, пожежогасіння та інших. Вбудовані каталоги містять тисячі параметричних елементів (сімейств – families) (рис. 1), кожен з яких забезпечений деталізованими атрибутивними даними [10]. У Revit є можливість створювати як власні бібліотечні елементи, так і використовувати численні зовнішні ресурси, зокрема офіційні каталоги від провідних виробників інженерного обладнання, таких як Siemens, Grundfos, Wilo, Schneider Electric, Philips, Honeywell, Danfoss [18

Табл. 1. Ключові можливості програмних комплексів Archicad і Revit

Критерій	Archicad (MEP Modeler)	Revit MEP
Основна спрямованість	Архітектура + базове MEP	Повноцінне MEP-проектування
Типи мереж	HVAC, W&C, EOM	HVAC, W&C, EOM, слабкострумові
Розрахунки	Переважно зовнішні	Вбудовані модулі
Колаборація	Через BIMcloud	Через BIM 360 / Worksharing
Формати обміну	IFC, DWG	IFC, gbXML, DWG
Підтримка стандартів	Open BIM	Autodesk BIM ecosystem

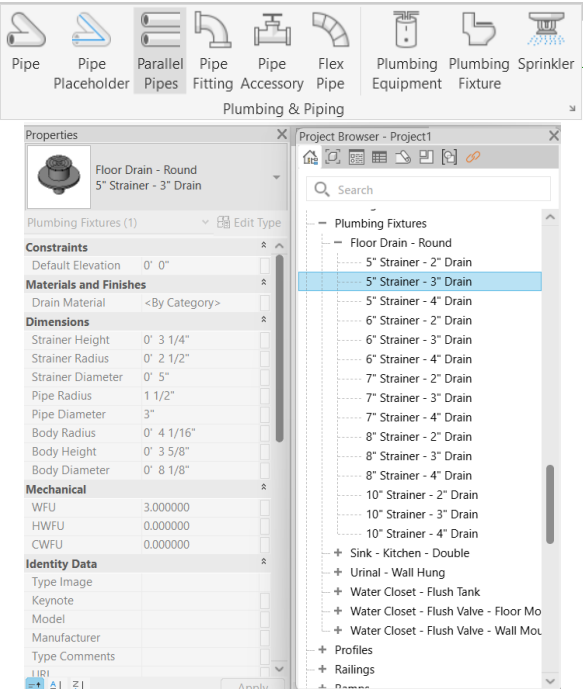
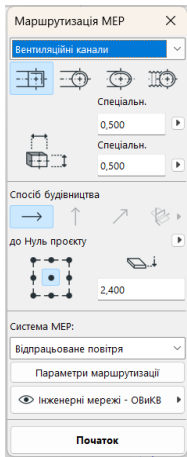


Рис. 1. Вбудовані бібліотеки (сімейства) Revit [10]

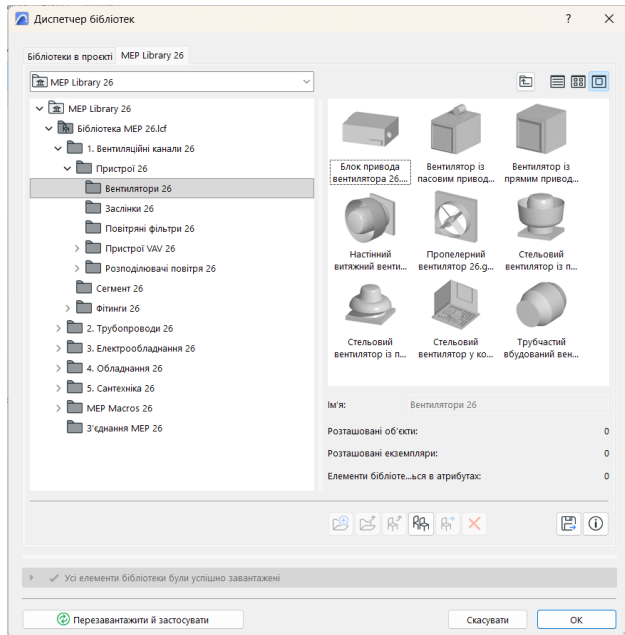
та ін.]. Значна роль хмарних платформ у розширенні контенту: BIMobject (інтегрував Autodesk Seek), Mercontent, Cadenas PARTcommunity та RevitCity. На цих ресурсах доступні тисячі готових груп, що містять параметри реального обладнання. Крім того, Revit підтримує імпорт та подальшу адаптацію IFC-об'єктів із зовнішніх систем, забезпечуючи

гнучкість у взаємодії з іншими BIM-платформами. Розвинена екосистема бібліотек Revit є однією з найбільших серед BIM-систем, що робить його зручним для виробників інженерного обладнання.

Archicad пріоритетно сфокусований на архітектурному моделюванні, хоча його функціонал розширено для підтримки створення інженерних мереж через модуль MEP Modeler (Рис. 2, а, б). Вбудована MEP-бібліотека в Archicad включає базові конструктивні елементи: повітро-, трубопроводи,



а)



б)

Рис. 2. Диспетчер бібліотек в Archicad [9]

фасонні частини, арматуру та кабельні лотки [9]. Проте, рівень деталізації технічних параметрів у цих елементах суттєво поступається аналогічному в Revit, обмежуючись переважно геометричними, мінімальними технічними характеристиками. Розширення бібліотечних можливостей можна досягти із додатковими об'єктами з офіційного репозиторію BIMcomponents.com; платформи BIMobject; через ресурс Open BIM Library, який підтримує обмін IFC-моделлями. Також в Archicad існує можливість самостійного створення об'єктів у мові програмування GDL (Graphisoft Design Language), хоча це вимагає від фахівця додаткових знань та досвіду у сфері програмування.

Комплексний порівняльний аналіз демонструє, що Revit MEP містить значно ширший масив готових компонентів – десятки тисяч елементів

проти базового набору, наданого в Archicad. Рівень параметризації в Revit охоплює геометричні, технічні, розрахункові, фізичні характеристики інженерних систем, тоді як у Archicad ці параметричні властивості здебільшого обмежені геометричними даними. Тому серед виробників інженерного обладнання поширеніший формат Revit, що при проєктуванні забезпечує пряму інтеграцію реального устаткування без потреби його додаткової адаптації. Створення власних елементів у Revit здійснюється через інтуїтивно зрозумілий редактор сімейств, а в Archicad це більш трудомісткий процес, що потребує знань у сфері програмування [6, 9-11].

Загалом, Revit забезпечує більш розвинену систему бібліотек MEP-компонентів, що покривають як стандартні фасонні частини, так і асортимент обладнання від провідних виробників. Це позиціонує його як ефективне рішення для деталізованих технічних рішень інженерних систем. Archicad же пропонує достатній базовий набір засобів для точного, візуального моделювання типових рішень інженерних мереж та ефективної координації з архітектурним розділом, а для точних інженерних розрахунків складних, громіздких інженерних систем чи автоматизованого підбору їх обладнання його базовий функціонал недостатній. Якщо пріоритетом проєкту є деталізована технічна верифікація та розрахункове забезпечення інженерних систем, то перевага за Revit. Якщо ж основне завдання – швидка та безшовна інтеграція інженерних систем у загальну архітектурну модель, то Archicad демонструє вищу зручність використання. Аналіз отриманих результатів показав вищу доцільність застосування Archicad для рішень архітектурно-інженерних, що базуються на технічно типових інженерних системах. На противагу цьому, Revit є ефективнішим для рішень великих та технологічно складних інженерних систем, коли ключове значення має високий рівень автоматизації їх інженерних розрахунків та безшовна інтеграція з іншими спеціалізованими інструментами екосистеми Autodesk.

Висновки

Archicad дає зручне точне візуалізоване середовище для здійснення координації інженерних мереж, проте його вбудований функціонал для їх інженерних розрахунків є обмеженим. Натомість, Revit позиціонується як більш комплексний інструмент для проєктування саме MEP-систем, забезпечуючи їм повноцінну підтримку аналітичних функцій, верифікацію колізій та автоматизовану генерацію технічних звітів. Хоча Archicad традиційно застосовується переважно у створенні архітектурної частини, його можливості для роботи з MEP-системами можуть бути розширені за рахунок використання спеціалізованих додатків (таких як MEP Modeler) та застосування робочих процесів OpenBIM/IFC. З огляду на це, найбільшої ефективності можна досягти шляхом комбінованого застосування обох платформ: Archicad використовується для архітектурної координації, а

Revit – для детального моделювання інженерних систем, при цьому обмін даними моделей здійснюється за допомогою універсального формату IFC.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Teo, Y.H. et al. (2022). Enhancing the MEP coordination process with BIM technology and management strategies. *Sensors*, 22(13), 4936. <https://doi.org/10.3390/s22134936>.
2. Atencio, E. et al. (2022). Towards the Integration and Automation of the Design Process for Domestic Drinking-Water and Sewerage Systems with BIM. *Applied Sciences*, 12(18), 9063. <https://doi.org/10.3390/app12189063>.
3. Afa, R. et al. (2025). Application of BIM-Driven BEM Methodologies for Enhancing Energy Efficiency in Retrofitting Projects in Morocco: A Socio-Technical Perspective. *Buildings*, 15(3), 429. <https://doi.org/10.3390/buildings15030429>.
4. Synii, S. V. et al. (2024). The role of information and communication technologies in engineering network research methodology. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*, 21, 207-215. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-22).
5. Kurejusz, M. et al. (2024). Integrating building information modelling (BIM) into construction: innovations, challenges, and global perspectives. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 23, 287-303. <https://doi.org/10.22630/ASP.A.2024.23.22>.
6. Waas, L., Enjellina. (2022). Review of BIM-Based Software in Architectural Design: Graphisoft Archicad VS Autodesk Revit. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 1(2), 14–22. <https://doi.org/10.24002/jarina.v1i2.6016>.
7. Nesterova, O.V. et al. (2024). Utilization of BIM technologies for enhancing the efficiency of water supply and wastewater systems design. *Ukrainian Journal of Construction and Architecture*, 1(019), 108-115. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.108.1030>.
8. Kravchenko, O. et al. (2023). BIM technologies in engineering network design. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 42, 29-34. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.42.29-34>.

9. Sunak, P. O. et al. (2022). Reconstruction of engineering structures and engineering networks, landscape based on laser scanning technology. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*, 18, 147-161. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16).
10. Synii, S. V. et al. (2025). Features of the methodology for integration engineering networks with a heat pump in building in the valley of Sapalayivka River in Lutsk. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*, 23, 285-300. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-25).
11. Archicad 27 Help. *Graphisoft*, 2024. URL: https://help.graphisoft.com/AC/27/INT/#=AC27_Help%2F001_ACHelpIntro%2F001_ACHelpIntro-1.htm.
12. Linking PDF Files and Images (Have You Tried): *Autodesk Revit 2022*. URL: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2022/ENU/?guid=GUID-52C359EE-4FBC-400F-9216-73CB0F578CBA>.
13. Autodesk Revit: BIM software to design and make anything. *Autodesk Inc.* 2025. URL: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>.
14. DSTU ISO 19650-1:2020 Information management using BIM. Part 1: Concepts and principles (ISO 19650-1:2018, IDT).
15. EN 17412-1:2020 BIM - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles.
16. Hamilton, S. et al. (2021). Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies. 103. <https://doi.org/10.2166/9781780409207>.
17. Guo, H. et al. (2023). Intelligent and Computer Technologies Application in Construction. *MDPI*, 306. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8151-4>.
18. Danfoss. BIM tool and libraries. URL: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/bim-tool-and-libraries/#tab-overview>.

Література

1. Teo, Y.H. et al. (2022). Enhancing the MEP coordination process with BIM technology and management strategies. *Sensors*, 22(13), 4936. <https://doi.org/10.3390/s22134936>.
2. Atencio, E. et al. (2022). Towards the Integration and Automation of the Design Process for Domestic Drinking-Water and Sewerage Systems with BIM. *Applied Sciences*, 12(18), 9063. <https://doi.org/10.3390/app12189063>.
3. Afa, R. et al. (2025). Application of BIM-Driven BEM Methodologies for Enhancing Energy Efficiency in Retrofitting Projects in Morocco: A Socio-Technical Perspective. *Buildings*, 15(3), 429. <https://doi.org/10.3390/buildings15030429>.
4. Синій С. В. та ін. (2024). Роль інформаційно-комунікаційних технологій у методології досліджень інженерних мереж. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 21, 207-215. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-22).
5. Kurcusz, M. et al. (2024). Integrating building information modelling (BIM) into construction: innovations, challenges, and global perspectives. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 23, 287-303. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2024.23.22>.
6. Waas, L., Enjellina. (2022). Review of BIM-Based Software in Architectural Design: Graphisoft Archicad VS Autodesk Revit. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 1(2), 14-22. <https://doi.org/10.24002/jarina.v1i2.6016>.
7. Несерова О. В. та ін. (2024). Використання BIM-технологій для підвищення ефективності проектування систем водопостачання та водовідведення. *Український журнал будівництва та архітектури*, 1(019), 108-115. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.108.1030>.

8. Кравченко О. та ін. (2023). BIM-технології в проектуванні інженерних мереж. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 42, 29-34. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.42.29-34>.
9. Сунак, П. О. та ін. (2022). Реконструкція інженерних споруд та мереж, ландшафту на основі технології лазерного сканування. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 18, 147-161. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16).
10. Синій, С. В. та ін. (2025). Особливості методики інтеграції інженерних мереж з тепловим насосом у будівлю в долині річки Сапалаївки у Луцьку. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 2025, 23, 285-300. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-25).
11. Archicad 27 Help. Graphisoft, 2024. URL: https://help.graphisoft.com/AC/27/IN/T/#=AC27_Help%2F001_ACHelpIntro%2F001_ACHelpIntro-1.htm.
- 12.. Linking PDF Files and Images (Have You Tried): Autodesk Revit 2022. URL: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2022/ENU/?guid=GUID-52C359EE-4FBC-400F-9216-73CB0F578CBA>.
13. Autodesk Revit: BIM software to design and make anything. Autodesk Inc. 2025. URL: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>.
14. ДСТУ ISO 19650-1:2020. Управління інформацією з використанням BIM. Частина 1. Концепції та принципи (ISO 19650-1:2018, IDT).
15. EN 17412-1:2020 BIM - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles.
16. Hamilton, S. et al. (2021). Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies. 103. <https://doi.org/10.2166/9781780409207>.
17. Guo, H. et al. (2023). Intelligent and Computer Technologies Application in Construction. *MDPI*, 306. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8151-4>.
18. Danfoss. BIM tool and libraries. URL: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/bim-tool-and-libraries/#tab-overview>.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 04.11.2025	Received 04.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 14.11.2025	Received in revised form 14.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

M. Ya. Shpinal*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9864-7050>
Department of Computer Science
Western Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

M. V. Buryak

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-1498>
Department of Transport and Logistics
Western Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

O. P. Zakharchuk

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>
Department of Transport and Logistics
Western Ukrainian National University, Lvivska St., 11, Ternopil, Ukraine, 46009

V. M. Marteniuk

Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0032-8414>
Department of Transport and Logistics
West Ukrainian National University, 11 Lvivska St., Ternopil, Ukraine, 46009

S. V. Synii

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3913-6725>

Department of Building and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: buriak74@ukr.net

Analysis of the use of Archicad and Revit in the design of engineering networks

How to Cite:

Shpintal, M. Ya., Buriak, M. V., Zakharchuk, O. P., Marteniuk, V. M., Synii, S. V. (2025). Analysis of the use of Archicad and Revit in the design of engineering networks. *Modern Technologies and Calculation Methods in Construction*, 24, 687-697. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-57](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-57)

Abstract. The results of the analysis of the use of Autodesk Revit MEP and Graphisoft Archicad MEP Modeler software products in the process of designing building engineering networks in the BIM environment are presented. The goal of the research is to establish the advantages and limitations, the feasibility of using each of the platforms depending on the features of the design object. The analysis covered the parametric modeling approach, the function of automatic conflict checking (collision), the ability to generate construction documentation, compatibility with other BIM systems through the use of the IFC format, the use of libraries of standard elements and parametric objects. Revit MEP demonstrates a higher level of calculation automation, modeling accuracy, and depth of parameterization for engineering systems. It allows for full-fledged MEP design, supporting hydraulic, thermal and electrical calculations, and facilitates effective team collaboration through the BIM 360 and Worksharing platforms. The large volume of built-in libraries, integrated with official manufacturer databases, enables the creation of high-precision models for HVAC, plumbing (W&C), electrical networks. Archicad MEP Modeler has an advantage in accuracy, in visualization and integration with the architectural model, making it convenient for combined architectural and engineering work. However, its capabilities for calculating engineering systems are limited and most technical parameters require export to specialized systems. Archicad supports data exchange in the IFC format, which promotes compatibility within the Open BIM concept, but the quantity and detail of library elements are inferior to Revit. The results obtained show that Revit MEP is an effective solution for large and bulky engineering systems, where automation of their technical and technological calculations, accuracy and coordination between specialists are important. Archicad is advisable to use for typical engineering systems or as part of architectural design. High design productivity is achieved with the synergy of Revit for detailed design of engineering networks and Archicad for their architectural consistency, with mandatory further exchange of model data via the IFC format.

Keywords: BIM technologies, Revit MEP, Archicad MEP Modeler, engineering networks, parametric modeling, design automation, methodology.

УДК 72.01

Д. В. Яловенко

Асистент кафедри архітектури та дизайну
Луцький національний технічний університет
вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О.С. Пасічник *

Кандидат архітектури, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8381-0257>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: oxanapasichnyk@gmail.com

Ландшафтно-архітектурні підходи до формування сучасних військових секторів поховань

Цитувати як:

Яловенко Д.В., Пасічник О.С. (2025). Ландшафтно-архітектурні підходи до формування сучасних військових секторів поховань. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 698-707. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-58](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-58)

© 2025, Яловенко Д.В., Пасічник О.С.

Стаття присвячена аналізу сучасних підходів до планування, реконструкції та переосмислення функціонування кладовищ в Україні та світі. Особливу увагу зосереджено на формуванні секторів військових поховань у контексті зростання їх ролі в умовах повномасштабної війни. Розглянуто історичну еволюцію форм поховань, архітектурно-містобудівні тенденції, екологічні виклики та сучасні стандарти благоустрою, що визначають трансформацію меморіальних територій. Важливою складовою дослідження є аналіз конкурсної роботи «Концепція облаштування сектору військових поховань на міському кладовищі в с. Гаразджа Луцького району Волинської області» (шифр 150007), яка демонструє можливості впровадження комплексного ландшафтно-архітектурного підходу. У проєкті акцентовано на створенні впорядкованої композиційної структури, використанні уніфікованих надгробків, інтеграції природоорієнтованих рішень, формуванні маршрутів для відвідувачів та зон індивідуального й колективного вшанування. У статті висвітлено ключові проблеми галузі: дефіцит місць для традиційних поховань, екологічна вразливість інгумації, обмежений розвиток альтернативних форм, фрагментарність нормативного забезпечення та недостатня організованість військових секторів. Проаналізовано досвід США та Німеччини, де впорядкованість, мінімалізм і природність формують модель сучасних меморіальних просторів. На основі проведеного огляду сформовано рекомендації щодо сталого розвитку поховальних територій, удосконалення нормативної бази та впровадження інклюзивних, екологічних та емоційно збалансованих рішень у практиці проєктування військових секторів в Україні.

Ключові слова: ландшафтно-архітектурний підхід, кладовище, військові поховання, меморіал, благоустрій, екологічні поховання, колумбарій.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Кладовища є важливими елементами історичного, культурного та архітектурного середовища суспільства. Вони виконують не лише утилітарну функцію поховання, але й відіграють роль місць пам'яті, національної ідентичності та духовного зв'язку поколінь. Сучасні тенденції формування меморіальних просторів охоплюють переосмислення функцій кладовищ, як ландшафтно-архітектурних об'єктів, що поєднують рекреаційні зони та місця пам'яті [8; 9].

Особливого значення набуває проблема формування секторів військових поховань, актуальна для України з 2014 року, й особливо загострена в умовах повномасштабної війни. На цьому тлі важливою є поява сучасних конкурсних проєктів нового покоління, зокрема концепції сектору військових поховань на кладовищі в с. Гаразджа (шифр 150007) [7].

Екологічні підходи до організації кладовищ детально висвітлені у роботі Jahn J.-E. [1], який описує європейські практики природних поховань (Ruheforst, Friedwald). Видання DStGB [2] узагальнює сучасні архітектурні форми меморіальних просторів – колумбарні стіни, павільйони, альтернативні форми поховань. Проєкти TRAUERHALTESTELLE [3] ілюструють нові моделі архітектури скорботи - павільйони тиші, меморіальні дошки. Вітчизняні дослідження приділяють увагу історичним аспектам військових поховань та їх осучасненню [6]. Тищенко І. аналізує Арлінгтонський національний цвинтар, як модель сучасного впорядкованого військового меморіалу з чіткою архітектурною структурою [5]. Нормативне забезпечення регламентується будівельними нормами [4], але документ не охоплює специфіку військових поховань, що створює прогалини в проєктуванні.

Серед фундаментальних робіт ландшафтознавства варто виділити праці A. Spirn [9], M. Treib [10], E. Meyer [14], які описують взаємодію ландшафту, збереження пам'яті та архітектури. Соціокультурні аспекти поховань розглядаються у роботах J. Rugg [11], D. Francis [12], J. Curl [13], T. Walter [15]. Дослідження меморіальних практик та символічних просторів представлені у Young [16] та Loeffler [18]. Питання просторової інтеграції меморіальних зон у міські ландшафти аналізують Fabos та Ryan [17] і Bowring [19].

Основні проблеми сфери поховань в Україні включають:

- дефіцит земельних ресурсів;
- екологічні ризики традиційної інгумації;
- обмеженість альтернативних форм поховань;
- хаотичність військових поховань через відсутність стандартів;
- недостатню увагу до ландшафтно-складової.

Мета і завдання дослідження. Мета статті - дослідити сучасні тенденції розвитку кладовищ та особливості формування секторів

військових поховань на прикладі концепції сектору військових поховань на міському кладовищі в с. Гаразджа.

Матеріали та методи

Форми та традиції поховань формувалися протягом тривалого історичного періоду, поступово змінюючись під впливом релігійних, культурних та соціальних чинників. Спочатку поховання здійснювалися переважно в межах церковних дворів, що підкреслювало їхній сакральний характер і тісний зв'язок із релігійною громадою. Однак із розвитком міст, зростанням чисельності населення та загрозами епідемії постала потреба у винесенні цвинтарів за межі населених пунктів [11; 13].

Саме в цей період почали формуватися перші міські некрополі, які вже розглядалися не лише як місця поховань, але і як певна форма впорядкованого планувального елемента міського середовища. Упродовж XIX–XX століть структура кладовищ трансформувалася: з'являються паркові цвинтарі, де ландшафтні елементи відіграють важливу емоційну та естетичну роль [11; 12]. Таке трактування кладовищ як ландшафтно-архітектурних об'єктів стало підґрунтям сучасних європейських підходів, що враховують рекреаційні, природоорієнтовані та меморіальні функції.

На початку XXI століття процеси глобалізації та екологізації вплинули на появу нових підходів до облаштування місць поховання. Європейська практика засвідчує перехід від суто утилітарного використання територій до створення комплексних меморіальних просторів, що поєднують функцію вшанування пам'яті з рекреаційними можливостями [1; 2].

Водночас широкого поширення набули концепції «природних» або еко-цвинтарів, які інтегруються у зелені зони міст і передбачають мінімальне втручання в екосистему. Як зазначає J.-E. Jahn, такі простори не лише є місцем поховання, але й виконують рекреаційну функцію, що суттєво змінює сприйняття кладовищ як соціальних інфраструктурних об'єктів [1].

Екологічний аспект нинішнього розвитку поховальної сфери є одним із ключових. У багатьох країнах світу відмовляються від використання матеріалів, здатних забруднювати ґрунтові води, поступово впроваджуючи біорозкладні труни, урни з природних компонентів, системи природної інгумації [1; 18].

Для європейських кладовищ стає характерним формування лісових поховань – Ruheforst, Friedwald – де зменшення кількості штучних

елементів дозволяє гармонійно вписати меморіальний простір у природне середовище [1; 14]. Цей підхід спрямований на збереження екосистем та мінімізацію антропогенного навантаження.

В умовах постійного браку територій актуальним є пошук рішень для зменшення площі традиційних поховань. Серед таких рішень: вертикальні колумбарні стіни, багаторівневі модульні системи, компактні меморіальні ділянки [2; 17].

Практика багатьох німецьких та скандинавських міст демонструє, що впровадження колумбарних комплексів сприяє ефективному використанню територій та підтриманню композиційної цілісності меморіального простору. Такі рішення дають змогу адаптувати структуру поховань до сучасних потреб суспільства.

Однією з новітніх тенденцій у розвитку кладовищ є забезпечення інклюзивності та комфорту для відвідувачів. Це передбачає безбар'єрність пересування, облаштування місць відпочинку, створення павільйонів тиші, доступної навігації [3].

Проекти TRAUERHALTESTELLE (Німеччина) демонструють зміну парадигми: від традиційної утилітарності до формування емоційно комфортного простору для осмислення втрати. Архітектура у таких рішеннях стає інструментом психологічної підтримки, що є важливою складовою сучасних меморіальних територій [3; 14].

Військові поховання мають комплексну меморіальну, історичну та державотворчу функцію. На відміну від цивільних цвинтарів, військові меморіали ґрунтуються на принципах уніфікації, символічності та структурності [5; 16].

Одним із найвідоміших прикладів є Арлінгтонський національний цвинтар у США. Його впорядкована геометрія, єдина форма надгробків і чітка композиція візуально підкреслюють рівність та героїзм похованих військовослужбовців [5]. Подібні підходи стають моделлю для створення військових секторів і в Україні.

Особливу увагу привертає концепція сектору військових поховань на кладовищі в с. Гаразджа (шифр 150007) [7]. Запропоноване рішення базується на створенні виразної композиційної осі, що поєднує вхідну групу та церемоніальний майданчик. Уздовж осі розташовуються регулярні паралельні ряди поховань, орієнтовані перпендикулярно до головного напрямку, що забезпечує візуальну впорядкованість простору. Проект

передбачає уніфікацію надгробків – їхньої форми, матеріалів, пропорцій, – що забезпечує цілісність меморіальної структури.

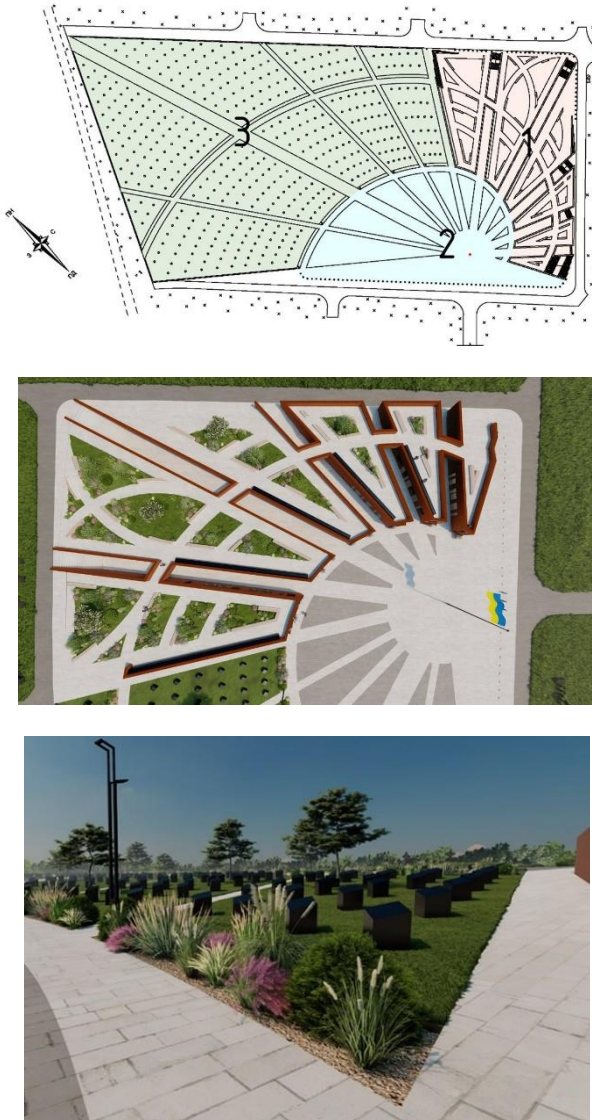


Рис. 1. Проект сектору військових поховань в с. Гаразджа.
Схема генплану. Схема скверу скорботи. Візуалізація зони поховань.
Архітектори: Данило Яловенко, Павло Мазилук, Софія Домбик. 2023 р.

Ландшафтна складова проєкту базується на збереженні наявних дерев та підсиленні природних акцентів. Використання напівпроникних покриттів знижує навантаження на ґрунтові води, а додавання рекреаційних елементів формує комфортне середовище для родин загиблих. Суттєвою частиною концепції є інформаційні стенди та навігаційні елементи, що виконують освітню функцію та дозволяють відвідувачам отримати інформацію про похованих військовослужбовців (Рис. 1).

Архітектурна виразність проєкту полягає у стриманості, мінімалізмі та використанні природних матеріалів. Такий стиль відповідає сучасним міжнародним стандартам меморіальної архітектури, де ключовими є мотиви тиші, поваги, гідності [14; 19]. Концепція сектору військових поховань у Гаразджі демонструє не лише технічні рішення, але й сформовану філософію простору – простоту, рівність, символічну чистоту, які відображають шану полеглим та емоційну підтримку для відвідувачів.

Результати та обговорення

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що сучасний розвиток кладовищ є складним багатовекторним процесом, у якому поєднуються екологічні, соціальні, культурні та архітектурні аспекти. Еволюція від прицерковних поховань до ландшафтних парків-меморіалів свідчить про суттєву зміну ставлення суспільства до простору смерті, який перестає виконувати виключно утилітарну функцію та стає важливою частиною культурного ландшафту.

Аналіз зарубіжних практик США та Німеччини демонструє загальну тенденцію до впорядкованості, мінімалізму, раціонального використання територій та гармонійного поєднання меморіальної функції з природним середовищем. Екологічні технології, інтеграція природних матеріалів, формування «тихих зон», інфільтраційні покриття та природоорієнтовані рішення стають невід’ємною частиною сучасного благоустрою.

Український контекст розвитку військових поховань має низку специфічних викликів, пов’язаних із відсутністю уніфікованих стандартів, хаотичністю існуючих секторів, нерівномірним рівнем благоустрою та зростанням кількості поховань унаслідок воєнних дій. У таких умовах особливого значення набувають сучасні концепції формування військових секторів, які забезпечують структурованість, гідність, впорядкованість та емоційну врівноваженість простору.

Розглянута концепція сектору військових поховань у с. Гаразджа (шифр 150007) є прикладом комплексного архітектурно-ландшафтного підходу, що враховує технічні, просторові, екологічні та символічні аспекти меморіальних територій. Проєкт демонструє впровадження уніфікації надгробків, логічної композиційної структури, природоорієнтованих рішень, інклюзивних елементів і сучасної навігації. Такий підхід відповідає

міжнародним тенденціям та може слугувати орієнтиром для розробки подібних секторів по всій Україні.

Висновки

Таким чином, формування військових поховань потребує поєднання архітектурної витриманості, етичних принципів, сталого ландшафтного мислення та екологічно виважених рішень. Застосування сучасних тенденцій у цьому напрямку здатне підвищити рівень благоустрою, естетичної якості, культурної значущості та психологічного комфорту меморіальних просторів в Україні. Потрібно удосконалити нормативну базу, зокрема доповнити чинні ДБН положеннями щодо: формування військових секторів поховань; уніфікації надгробків; вимог до благоустрою; екологічних та природоорієнтованих рішень. Впроваджувати єдині стандарти меморіальної архітектури в секторах військових поховань, а саме у визначення геометрії рядів; регламентування габаритів і матеріалів надгробків; впорядкування церемоніальних просторів. Розвивати екологічні форми поховань, зокрема природні цвинтарі; лісові меморіали; колумбарні комплекси; системи природної інгумації; інфільтраційні покриття й біорозкладні матеріали. Забезпечувати інклюзивність територій, а саме безбар'єрні маршрути; доступну навігацію; тактильні елементи; місця тихого відпочинку; обладнання для маломобільних груп. Підсилювати ландшафтну складову, орієнтуючись на збереження природної рослинності, мінімальне втручання у природне середовище, формування тінювих та рекреаційних зон, використання місцевих порід дерев. Інтегрувати освітню та інформаційну функцію стенди з біографіями похованих, інтерактивні карти, QR-навігація, створення електронних баз пам'яті. Використовувати мінімалізм і стриману символіку, що підкреслює гідність, рівність, шанобливе ставлення до місця поховання, цілісність меморіального простору.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Jahn J.-E. Natural Burials: Development of Ecological Cemetery Concepts in Europe. – Berlin: Parkverlag, 2020. – 184 p.
2. DStGB Dienstleistungs GmbH. New Forms of Remembrance and Modern Cemetery Architecture. – Berlin: DStGB Verlag, 2019. – 76 p.
3. TRAUERHALTESTELLE. Project Documents and Architectural Solutions [Electronic resource]. – 2018. – Access mode: <https://www.trauerhaltestelle.de>
4. DBN B.2.2-1:2008. Cemeteries, Crematoriums and Columbaria. – Kyiv: Minregionalbud of Ukraine, 2008. – 46 p.
5. Tyshchenko I. Arlington National Cemetery as a Model of a Modern Military Memorial // Bulletin of the KNUBA. – 2019. – No. 4. – P. 112–119.
6. Analytical materials on the history and specifics of Ukrainian military burials // Trends in the development of cemeteries [Electronic resource]. – Access mode: materials provided by the authors.
7. Explanatory note to the concept of the military burial sector (code 150007) [Electronic resource]. – Access mode: materials provided by the authors.
8. Norrie Sh. Landscape as culture: history and theory of landscape architecture. – K.: Osnovy, 2017. – 352 p.
9. Spiri A. W. The Language of Landscape. – New Haven; London: Yale University Press, 1998. – 345 p.
10. Treib M. Meaning in Landscape Architecture and Gardens. – New York: Routledge, 2011. – 232 p.
11. Rugg J. Defining the Place of Death: Cemetery Research and the Landscape of the Past // Mortality. – 2000. – Vol. 5, No. 3. – P. 259–275.
12. Francis D., Kellaher L., Neophytou G. The Secret Cemetery. – Oxford: Berg Publishers, 2005. – 214 p.
13. Curl J. S. The Victorian Celebration of Death. – Stroud: Sutton Publishing, 2004. – 320 p.
14. Meyer E. Sustaining Beauty: The Performance of Appearance // Journal of Landscape Architecture. – 2008. – Vol. 3, No. 1. – P. 6–23.
15. Walter T. Modern Death: Taboo or Not Taboo? // Sociology. – 1991. – Vol. 25, No. 2. – P. 293–310.
16. Young J. The Texture of Memory: Holocaust Memorials and Meaning. – New Haven: Yale University Press, 1993. – 398 p.
17. Fabos J. G., Ryan R. International Greenway Planning: Urban–Rural Connections // Landscape and Urban Planning. – 1995. – Vol. 33. – P. 295–312.
18. Loeffler C. Cemeteries as Cultural Landscapes // Landscape Research. – 2017. – Vol. 42, No. 4. – P. 368–380.
19. Bowring J., Jones M. Contemporary Landscapes of Contemplation. – New York: Routledge, 2020. – 256 p.

Література

1. Jahn J.-E. (2020). Naturbestattungen: Entwicklung ökologischer Friedhofskonzepte in Europa. Berlin: Parkverlag, 184 p.
2. DStGB Dienstleistungs GmbH. Neue Formen des Gedenkens und moderne Friedhofsarchitektur. Berlin: DStGB Verlag, 2019. 76 p.
3. TRAUERHALTESTELLE. Projektunterlagen und architektonische Lösungen [Електронний ресурс]. 2018. Режим доступу: <https://www.trauerhaltestelle.de>

4. ДБН Б.2.2-1:2008. Кладовища, крематорії та колумбарії. К.: Мінрегіонбуд України, 2008. 46 с.
5. Тищенко І. (2019). Арлінгтонський національний цвинтар як модель сучасного військового меморіалу // Вісник КНУБА, 4, 112–119.
6. Аналітичні матеріали з історії та специфіки українських військових поховань // Тенденції розвитку кладовищ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: матеріали надано авторами.
7. Пояснювальна записка до концепції сектору військових поховань (шифр 150007) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: матеріали надано авторами.
8. Норрі Ш. (2017). Ландшафт як культура: історія та теорія ландшафтної архітектури. К.: Основи, 352 с.
9. Spirn A. W. (1989). The Language of Landscape. New Haven; London: *Yale University Press*, 345 p.
10. Treib M. (2011). Meaning in Landscape Architecture and Gardens. – New York: *Routledge*, 232 p.
11. Rugg J. (2000). Defining the Place of Death: Cemetery Research and the Landscape of the Past // *Mortality*, 5, 3, 259–275.
12. Francis D., Kellaher L., Neophytou G. (2005). The Secret Cemetery. – *Oxford: Berg Publishers*, 214 p.
13. Curl J. S. (2004). The Victorian Celebration of Death. Stroud: *Sutton Publishing*, 2004. 320 p.
14. Meyer E. (2008). Sustaining Beauty: The Performance of Appearance // *Journal of Landscape Architecture*, 3, No. 1, 6–23.
15. Walter T. (1991). Modern Death: Taboo or Not Taboo? // *Sociology*, 25, No. 2, 293–310.
16. Young J. (1993). The Texture of Memory: Holocaust Memorials and Meaning. – New Haven: *Yale University Press*, 398 p.
17. Fabos J. G., Ryan R. (1995). International Greenway Planning: Urban–Rural Connections // *Landscape and Urban Planning*, 33, 295–312.
18. Loeffler C. (2017). Cemeteries as Cultural Landscapes // *Landscape Research*, 42, No. 4, 368–380.
19. Bowring J., Jones M. (2020). Contemporary Landscapes of Contemplation. – New York: *Routledge*, 256 p.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 17.11.2025	Received in revised form 17.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

Yalovenko D.V.

Assistant lecturer

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

Pasichnyk O.S. *

Candidate of Architecture, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8381-0257>

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: oxanapasicznyk@gmail.com

Landscape and Architectural Approaches to the Formation of Modern Military Burial Sectors

Cite as:

Yalovenko, D.V., Pasiichnyk, O.S. (2025). Landscape and Architectural Approaches to the Formation of Modern Military Burial Sectors. *Modern Technologies and Calculation Methods in Construction*, 24, 698-707. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-58](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-58)

© 2025, Yalovenko D.V., Pasiichnyk O.S.

Abstract. The article is devoted to the analysis of modern approaches to planning, reconstruction and rethinking the functioning of cemeteries in Ukraine and the world. Particular attention is focused on the formation of military burial sectors in the context of the growth of their role in the conditions of a full-scale war. The historical evolution of burial forms, architectural and urban planning trends, environmental challenges and modern standards of improvement that determine the transformation of memorial territories are considered. An important component of the study is the analysis of the competitive work "Concept of arranging a military burial sector at a city cemetery in the village of Garazdzha, Lutsk district, Volyn region" (code 150007), which demonstrates the possibilities of implementing a comprehensive landscape and architectural approach. The project focuses on creating an orderly compositional structure, using unified tombstones, integrating nature-oriented solutions, forming routes for visitors and zones of individual and collective commemoration. The article highlights the key problems of the industry: the shortage of places for traditional burials, the environmental vulnerability of inhumation, the limited development of alternative forms, the fragmentation of regulatory support and the lack of organization of military sectors. The experience of the USA and Germany is analyzed, where orderliness, minimalism and naturalness form the model of modern memorial spaces. Based on the review, recommendations were formed for the sustainable development of burial areas, improving the regulatory framework and implementing inclusive, ecological and emotionally balanced solutions in the practice of designing military sectors in Ukraine.

Keywords: landscape and architectural approach, cemetery, military burials, memorial, landscaping, ecological burials, columbarium.

З М І С Т

Азізов Т.Н., Кочкар'ов Д.В., Майстренко О.Ф.	Розрахунок багатопанельних деревинних стрижнів.....	5
Азізова А.Г., Пенц М.В., Овсій Д.М., Гасенко А.В.	Конструктивні рішення з відновлення вбудованих приміщень споруд підвійного призначення в будівлях закладів освіти із стіною конструктивною системою.....	20
Андрійчук В.О., Громов Д.Ю.	Встановлення кореляційної залежності між неруйнівними та руйнівними випробовуваннями бетону і сталеві фібробетону.....	40
Анін В.І., Фосташенко Д.О.	Підвищення ефективності організаційно-технологічних рішень в інфраструктурному будівництві шляхом впровадження системного підходу.....	52
Березань М.О., Юрченко С.В.	Особливості розрахунку одноповерхових промислових каркасних будинків на дію карстового провалу.....	63
Буяк А.Є., Вітровий А.О., Попович П.В., Шпінталь М.Я., Захарчук О.П., Буяк М.В.	Підбір оптимальних параметрів базальтової фібри для підвищення міцності фібробетону.....	73
Верешко О.В., Волошин В.У., Цицюк Д.А.	Створення планово-висотної геодезичної основи за допомогою електронного теодоліта ДТ-5.....	85
Верешко О.В., Федонюк М.А., Ланцева К.В., Задоронікова І.В.	Оцінка обсягів перетворення геологічного середовища у житловому та дорожньому будівництві Волинської області.....	100

Гнатюк О.Т., Максимович В.М., Осадчук Т.Ю., Фабрика Ю.М.	Експериментально-теоретичне дослідження роботи буронабивних мікропаль на дію вертикальних вдавлюючих навантажень.....	110
Дмитренко Є.А., Костира Н.О., Усенко М.В., Денисенко Д.О.	Вплив швидкості прикладання навантаження на параметри зчеплення арматури з бетоном при чисельних та експериментальних випробуваннях.....	123
Добровольська О.Г., Фосташенко О.М., Банаш А.В.	Моніторинг технічного стану й функціональної придатності транспортної інфраструктури, інженерних споруд та обладнання в умовах міської забудови.....	143
Задорожнікова І.В., Абрамюк І.Г., Парфентьева І.О., Смаль М.В., Верешко О.В.	Елементи сучасної містобудівної структури у контексті конструктивно-планувальних особливостей та перспектив розвитку центрів дизайну.....	155
Захарчук О.П., Попович П.В., Буряк М.В., Буяк А.Є., Шпінталь М.Я.	Ефективність застосування ВІМ-технологій: аналіз програмних рішень.....	164
Ільчук Н.І., Смаль М.В.	Реконструкція ландшафтно-рекреаційних зон у м. Луцьку.....	173
Лесик-Бондарук О.О.	До питання про принципи оцінки фортифікаційних споруд України для виявлення можливостей їх ефективного використання в сучасних умовах.....	183
Мазурак А.В., Осадчук Т.Ю., Мазурак Т.А., Мазурак О.Т., Давидовський Н.Б.	Підсилення залізобетонного перекриття армованим торкретбетоном.....	196

Матюшенко І.М., Гайда С.В., Щупаківський Р.Б., Салабай І.І., Копинець З.П.	Результати обстеження та оцінки технічного стану несучих конструкцій покриття супермаркету з дерев'яними фермами перед встановленням дахової сонячної електростанції.....	207
Мельник Л.М., Ясній В.П., Мещерякова О.М.	Компетентності майбутнього: роль BIM у підготовці будівельних кадрів.....	219
Нінічук М.В., Ротко С.В., Пасічник Р.В., Парфентьева І.О., Іванюк А.М.	Технічне обстеження і визначення несучої здатності монолітних колон і шинних балок фундаментів картонноробної машини Fampra картонно-паперового цеху.....	235
Нінічук М.В., Ротко С.В., Талах Л.О., Кислюк Д.Я., Крантовська О.М.	Визначення несучої здатності та розробка заходів з підсилення конструкцій залізобетонних балок картонноробної машини із застосуванням методів нелінійного розрахунку.....	244
Олевич Ю.В., Андрусяк А.В., Козак О.В.	Високорухливі бетонні суміші для влаштування буронабивних паль.....	255
Панкєєва А.М.	Критерії просторового розвитку територій зони впливу агломерації.....	266
Пасічник О.С., Казмірук Ю.Й., Пасічник Р.В., Косирева Ю.С.	Багатофункціональні центри протезування, реабілітації та соціальної адаптації пацієнтів: аналіз сучасних потреб щодо планування типологічної групи.....	279
Пасічник Р.В., Павлюк А.П., Ротко С.В., Пахолук О.А.	Дерев'яні конструкції у формі гіпару: моделювання, розрахунок та порівняння трьох структурних варіантів.....	293
	Забезпечення якості виконання будівельно-монтажних робіт при покращенні енергоефективності будівель.....	308

Піліпака Н.В., Пасічник О.С., Казмірук Ю.Й.	Інклюзивність при ревіталізації виробничих територій на прикладі мікрорайону «Чайка» у м. Рівному.....	317
Приходько О.С., Приходько В.О.	Ітераційна оптимізація складу бетону із заданою швидкістю тверднення за допомогою машинного навчання.....	331
Радіон І.А., Мельник О.В.	Сучасні методи нейронних мереж для векторизації будівель із супутникових знімків високої роздільної здатності.....	340
Rozmus D.I.	Mechanical performance and fracture behavior of roller compacted concrete with organo-mineral additives.....	348
Розум Р.І., Вітровий А.О., Шпінталь М.Я., Буяк А.Є., Попович П.В.	Вплив зовнішнього середовища на міцність і довговічність будівельних металоконструкцій та несучих елементів будівельної техніки.....	378
Рубан-Головчук З.М., Рубан М.З.	Камінь, бронза і бетон: матеріали, що об'єднують архітектуру та скульптуру.....	367
Русецька М.В., Бакулін Є.А.	Експериментально-моделююче дослідження процесів вологоперенесення у сендвіч-панелі з базальтовим утеплювачем у помірному кліматі України.....	375
Рябих Н.В.	Правові механізми інтеграції українського містобудівного законодавства до acquis communautaire ЄС: проблеми та пріоритети гармонізації	384
Салабай Р.Г., Салабай І.І., Щупаківський Р.Б., Матюшенко І.М., Гайда С.В.	Застосування конструкційних деревинних плитних матеріалів у будівництві.....	398

Самоненко І.В.	Оптимізація проєктування будівельних конструкцій за допомогою ймовірнісних розподілів.....	409
Сєдов А.В., Фоменко О.О.	Дослідження впливу пластифікації та фракціонування грануляту на властивості матеріалу, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу.....	417
Сідун Ю.В., Гунька В.М., Куліков Д.О., Тешишин Н.Р., Кальмук М.М.	Вплив компаундування бітумних в'язучих на властивості литих емульсійно-мінеральних сумішей.....	437
Смаль М.В., Дзюбинська О.В., Піліпака Н.В., Задорожнікова І.В., Ільчук Н.І.	Використання геопросторових даних для сталого розвитку територіальних громад.....	440
Смолянюк Р.В., Воловик О.О.	Дослідження закономірностей розподілення транспортних потоків на під'їздах до крупних населених пунктів в умовах урбанізації.....	453
Смолянюк Р.В., Смолянюк Н.В.	Збільшення шумового забруднення від автотранспорту як наслідок бойових дій на території України.....	465
Соколенко К.В.	Оптимізація поперечного перерізу сталевий зварної двотаврової балки за критерієм мінімальної потенціальної енергії деформації.....	477
Соколенко В.М., Соколенко К.В., Коліушко О.Б., Герасим П.М.	Дослідження роботи теплоізоляції одношарової системи на етапі життєвого циклу промислового об'єкта.....	493
Степанюк В.О., Парфентьева І.О., Задорожнікова І.В.	Сталий та інклюзивний розвиток реабілітаційних центрів: перспективи розширення на прикладі ГО «АГАПЕ-УКРАЇНА»	505

Сяський А.О., Делявський М.В., Мікуліч С.Б.	Вплив розмірів включення на напружений стан пластинчастих елементів за динамічного навантаження 516
Ткач С.В., Кровяков С.О.	Вітчизняний бітум, модифікований різними класами добавок..... 525
Uzhehov S. O., Uzhehova O. A., Bondarskyi O. G., Zadorozhnikova I. V., Aleksiievets V.I.	Determination of the load-bearing capacity of reinforced concrete columns 539
Уль А.В., Мельник Ю.А., Мельник О.В., Верешко О.В.	Геоінформаційний аналіз просторової взаємодії щільності забудови та міської зеленої інфраструктури (UGI) у місті Житомир..... 553
Уль А.В., Мельник О.В., Мельник Ю.А., Шеремета В.В.	Геоінформаційні методи визначення географічних центрів адміністративних утворень..... 564
Філіпчук С.В., Собіщанський О.Л.	Напружено-деформований стан двохшарнірних залізобетонних рам при повторних навантаженнях..... 578
Фоменко О.О., Сєдов А.В.	Визначення раціональних режимів роботи котків при ущільненні асфальтобетонних покриттів з метою підвищення їх довговічності..... 588
Фурс Т.В., Мікуліч О.А., Войтюк І.М.	Дослідження впливу перлітової добавки на структуру та механічні властивості жорсткого пінополіуретану..... 599
Хвищук П.В., Дзюбинська О.В., Смаль М.В., Дзюбинський А.В., Смаль Д.О.	Сучасні тренди кліматичного обладнання в організації енергоефективності житлових та громадських будівель..... 610

Човнюк Ю.В., Чередніченко П.П., Остапущенко О.П., Кравченко І.М., Задорожний А.О.	Аналіз коливань (вібрації) конструктивних елементів вантажопідйомних механізмів і машин.....	621
Chovnyuk Yu.V. Shamych O. M. Priymachenko A.V. Cherednichenko P.P. Ivanov E.O.	Fractal formalism in identification of indoor sports facilities as systems with partial indeterminism.....	651
Швидкий Д.В., Швець В.В., Соколенко В.М., Соколенко К.В.	Вплив зовнішніх факторів та часу на характеристики та стан матеріалів, що складають масив руйнації забудови.....	664
Шимчук О.П., Процюк В.О., Талах Л.О., Дробишинець С.Я.	Вплив інженерного облаштування вулиць та доріг на безпеку пішоходів і велосипедистів...	678
Шпінталь М.Я., Буряк М.В., Захарчук О.П., Мартенюк В.М., Синій С.В.	Аналіз застосування Archicad та Revit у проєктуванні інженерних мереж.....	687
Яловенко Д.В., Пасічник О.С.	Ландшафтно-архітектурні підходи до формування сучасних військових секторів поховань.....	698

Наукове видання

Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 24

Видається двічі на рік

Верстка С.В. Ротко

Матеріали друкуються в авторській редакції. За стилістику та орфографію статей відповідальність несуть автори

Підписано до друку 26.11.2025 р. Формат 60 × 84 1/16.

Папір офсетний. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 44,75.

Тираж 100 пр. Зам. № _____

Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефони: +38(095)9344828, +38(097)7230608

Е-mail: mailbox@helvetika.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.