

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра автомобілів і транспортних технологій

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА СТРАТЕГІЯ ФОРМУВАННЯ
МЕРЕЖІ ПУНКТІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

спеціальність 274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АТм-21
Владислав ІЛЮШИК

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Валерій ДЕМБІЦЬКИЙ

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2025 р.
гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент,
Олег СІТОВСЬКИЙ

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 27 Транспорт
Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма: «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В. ОНИЦУК

«__» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ілюшик Владислав Ігоревич

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Багатокритеріальна стратегія формування мережі пунктів контролю технічного стану транспортних засобів»

Керівник роботи: к.т.н., доцент Дембіцький Валерій Миколайович

затвержені наказом вищого навчального закладу від «26» листопада 2025 р. № 499/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «09» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: просторові та мережеві характеристики дорожньої інфраструктури Волинської області, структура та динаміка парку транспортних засобів за категоріями, параметри пропускної спроможності ліній контролю, швидкісні профілі руху, регуляторні вимоги до ПКТС та сезонні показники попиту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1. Аналіз нормативно-правових вимог та сучасних підходів до просторово-мережевого планування ПКТС.

2. Оцінювання попиту: характеристика парку транспортних засобів, сезонності та сценаріїв його зміни.

3. Геоаналітичне моделювання доступності: ізохрони, швидкісні профілі та базові індикатори покриття.

4. Розрахунок пропускної спроможності та визначення необхідної кількості ліній.

5. Побудова та оптимізація мережевої моделі з обмеженнями доступності, потужності та бюджету

6. Формування та обґрунтування оптимальної конфігурації мережі ПКТС Волинської області.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Титульний аркуш, мета, об'єкт, предмет, завдання досліджень; основні результати досліджень, висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «05» лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз нормативно-правових вимог та сучасних підходів до просторово-мережевого планування ПКТС</i>	04.10.2025	
2	<i>Оцінювання попиту: характеристика парку транспортних засобів, сезонності та сценаріїв його зміни</i>	18.10.2025	
3	<i>Геоаналітичне моделювання доступності: ізохрони, швидкісні профілі та базові індикатори покриття</i>	25.10.2025	
4	<i>Розрахунок пропускної спроможності та визначення необхідної кількості ліній</i>	08.11.2025	
5	<i>Побудова та оптимізація мережевої моделі з обмеженнями доступності, потужності та бюджету</i>	15.11.2025	
6	<i>Формування та обґрунтування оптимальної конфігурації мережі ПКТС Волинської області</i>	22.11.2025	
7	<i>Перевірка кваліфікаційної роботи керівником</i>	26.11.2025	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу відповідно діючих вимог</i>	29.11.2024	
9	<i>Перевірка роботи на плагіат</i>	після 01.12.2025	
10	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	згідно графіка захистів	

Здобувач вищої освіти

_____ (В. ЛІЮШИК)
 (підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (В. ДЕМБЦЬКИЙ)
 (підпис) (ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ілюшик В.І. Багатокритеріальна стратегія формування мережі пунктів контролю технічного стану транспортних засобів.

Кваліфікаційна робота магістра освітньої програми «Автомобільний транспорт» спеціальності 274 Автомобільний транспорт. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 3 розділів, висновків, переліку джерел посилань. Обсяг кваліфікаційної роботи становить 71 сторінку основного тексту, 5 таблиць, 10 рисунків та 51 джерело за переліком посилань.

Кваліфікаційна робота присвячена розробленню моделі просторово-мережевого планування пунктів контролю технічного стану транспортних засобів у Волинській області з урахуванням вимог доступності, пропускнуої спроможності та регуляторних норм. У роботі здійснено аналіз нормативно-правових вимог, сучасних підходів до мережевого планування та методів багатокритеріального прийняття рішень, інтегрованих із класичними задачами p -median та максимального покриття.

На основі аналізу сформовано конфігурацію мережі ПКТС регіону, включно з міськими вузлами, необхідною кількістю ліній, сценаріями сезонного навантаження та операційними характеристиками. Практична цінність дослідження полягає у можливості забезпечити доступність послуг технічного контролю, зменшити витрати користувачів, підвищити ефективність функціонування пунктів контролю й підтримати ухвалення управлінських рішень. Отримана модель є придатною для стратегічного планування розвитку інфраструктури технічного контролю, подальшого масштабування.

Ключові слова: пункт контролю технічного стану; технічний контроль; планування; доступність; ізохронний аналіз; багатокритеріальне прийняття рішень; пропускна спроможність; регіональна транспортна інфраструктура; безпека дорожнього руху; оптимізація мережі.

ANNOTATION

Ilyushyk V.I. Multi-criteria strategy for forming a network of vehicle technical condition control points.

Master's qualification work of the educational program "Automobile Transport" specialty 274 Automobile Transport. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, 3 sections, conclusions, a list of references. The volume of the qualification work is 71 pages of the main text, 5 tables, 10 figures and 50 sources according to the list of references.

The qualification work is devoted to the development of a model of spatial-network planning of vehicle technical condition control points in the Volyn region taking into account the requirements of accessibility, throughput and regulatory norms. The work analyzes regulatory requirements, modern approaches to network planning and methods of multi-criteria decision-making, integrated with classical problems of p-median and maximum coverage.

Based on the analysis, the configuration of the regional PCTS network was formed, including urban nodes, the required number of lines, seasonal load scenarios and operational characteristics. The practical value of the study lies in the ability to ensure the availability of technical control services, reduce user costs, increase the efficiency of the operation of control points and support the adoption of management decisions. The resulting model is suitable for strategic planning of the development of the technical control infrastructure, further scaling.

Keywords: technical condition control point; technical control; planning; availability; isochronous analysis; multi-criteria decision-making; capacity; regional transport infrastructure; road safety; network optimization.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Теоретико-методичні засади формування мережі пунктів контролю технічного стану КТЗ	11
1.1 Роль і місце мережі пунктів контролю технічного стану у системі безпеки дорожнього руху та технічної експлуатації ТЗ.	11
1.2 Огляд і порівняння нормативно-правових вимог.	15
1.3 Підходи до планування сервісних мереж.	18
1.4 Методи багатокритеріального прийняття рішень.	22
1.5 Інтеграція MCDM з задачами розміщення.	25
Висновки до розділу.	29
2 Система критеріїв оцінювання розташування пунктів контролю технічного стану.	32
2.1 Класифікація пунктів контролю технічного стану.	32
2.2 Формування системи критеріїв оцінювання локацій ПКТС.	37
2.3 Нормалізація критеріїв та їх вага.	40
2.4 Застосування GIS-інструментарію і просторових метрик.	43
2.5 Модель потоків і черг.	45
Висновки до розділу.	48
3 Моделювання мережі пунктів контролю технічного стану транспортних засобів.	51
3.1 Обґрунтування вихідних даних.	51
3.2 Моделювання мережі пунктів контролю технічного стану автомобілів в межах міської агломерації Луцька.	56
3.3 Моделювання мережі пунктів контролю технічного стану автомобілів в межах міської агломерацій Ковеля та Володимира.	60
3.4 Моделювання мережі пунктів контролю технічного стану	

автомобілів в межах Волинської області.	63
Висновки до розділу.	68
Висновки.	70
Перелік джерел посилання	72

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена поєднанням безпекових, економічних і регуляторних викликів у сфері автомобільного транспорту. Підвищення інтенсивності перевезень, старіння парку та зростання частки транзитних потоків формують сталий попит на якісний технічний контроль транспортних засобів (ПКТС). Водночас державна політика наближення до європейських практик вимагає прозорої, надійної та просторово збалансованої мережі пунктів контролю з гарантованою доступністю для населення та бізнесу. Недостатня щільність ПКТС або їх диспропорційне розміщення призводять до нерівності доступу, операційних втрат, затримок і ризиків для безпеки руху.

Методологічно актуально впровадити сучасні інструменти просторово-мережевого планування (ізохронний аналіз, p-median, MCLP), що дозволяють на доказовій основі визначати оптимальну кількість і локації ПКТС з урахуванням демографії, дорожньої мережі, швидкісних профілів та пікових навантажень. Практична значущість полягає у можливості обґрунтувати мінімальний склад ліній за категоріями ТЗ, забезпечити цільову доступність (напр., у межах 30 хв), зменшити витрати користувачів і підвищити рівень безпеки. Додаткову вагу надає цифровізація процесів (OBD/відеофіксація, електронні протоколи, API-обмін), що підсилює прозорість і керованість мережі. Отже, тема є своєчасною та суспільно значущою, оскільки надає інструменти для стратегічного розвитку регіональної інфраструктури контролю технічного стану автомобілів.

Мета роботи – розробити модель планування мережі пунктів контролю технічного стану, яка забезпечує цільову доступність, оптимальне розміщення об'єктів та достатню пропускну спроможність за категоріями транспортних засобів.

Об'єктом досліджень є процеси формування регіональної мережі пунктів контролю технічного стану та її функціонування в умовах просторово нерівномірного попиту, транзитних потоків і сезонних коливань навантаження.

Предметом досліджень є моделі планування конфігурації мережі ПКТС з врахуванням доступності, параметрів пропускнуої спроможності та режимів роботи.

Завдання роботи:

- провести аналіз сучасних підходів до просторово-мережевого планування сервісних інфраструктур;
- провести дослідження впливу швидкісних профілів дорожньої мережі на показники доступності;
- провести дослідження впливу коефіцієнта використання ліній і продуктивності постів на необхідну кількість «легких»/«важких» ліній та рівень черг у пікові періоди;
- провести дослідження можливостей прогнозування річного попиту і сценарію зростання парку з оцінкою потреби в операційному підсиленні;
- розробити варіанти конфігурації мережі ПКТС у Волинській області.

Науково-практичну цінність становить розроблена модель просторово-мережевого планування мережі ПКТС Волинської області;

Методи досліджень, застосовані у кваліфікаційній роботі, спираються на положення математичного моделювання, дослідження операцій та теорії розміщення об'єктів. Дослідження проводилися з використанням персонального комп'ютера та сучасного програмного забезпечення.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідалися на V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії» ЛНТУ (13 листопада 2025 р.) та опубліковано: В. Ілюшик. Багатокритеріальна стратегія формування мережі пунктів технічного контролю ТЗ: мотивація та передумови впровадження \\\ Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”. Луцьк: ЛНТУ – 2025р.– с. 240-242.

На захист виносяться наступні результати досліджень: застосовний підхід до просторово-мережевого планування мережі ПКТС, кількісно обґрунтована конфігурація мережі Волинської області, міські рішення якірних вузлів (Луцьк, Ковель, Володимир, операційна стратегія роботи мережі).

1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖІ ПУНКТИВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КТЗ

1.1 Роль і місце мережі пунктів контролю технічного стану у системі безпеки дорожнього руху та технічної експлуатації ТЗ

Розвинена мережа пунктів контролю технічного стану (далі — ПКТС) є ключовою ланкою між регуляторною системою безпеки дорожнього руху (далі — БДР) і практикою технічної експлуатації транспортних засобів (далі — ТЗ). У континуумі «проектування — виробництво — експлуатація — утилізація» саме ПКТС перетворюють вимоги технічних регламентів, стандартів та правил на перевірені в реальних умовах показники справності гальмівних систем, рульового керування, світлотехніки, підвіски, систем керування двигуном і викидами, шин та коліс, пасивної безпеки й інших критично важливих елементів. Фактично ПКТС виконують функцію незалежного арбітра між власником або користувачем ТЗ, інженерно-сервісною інфраструктурою та державним контролем, забезпечуючи підтвердження дорожньої придатності на момент перевірки та створюючи інформаційну основу для ухвалення управлінських рішень щодо експлуатації парку.

З позицій БДР роль ПКТС проявляється у розриві причинно-наслідкового ланцюга, що веде від технічної несправності до дорожньо-транспортної пригоди. Систематичний контроль справності дозволяє відсікти латентні (приховані) дефекти, які накопичуються між регламентними обслуговуваннями, зменшує імовірність відмови у критичний момент та знижує тяжкість наслідків інцидентів завдяки адекватному стану систем пасивної безпеки. ПКТС підтримують виконання вимог нормативів щодо граничних значень коефіцієнтів гальмування, ефективності стоянкового гальма, рівномірності гальмівних сил, відповідності оптичних параметрів фар, допустимих люфтів у рульовому керуванні, технічної справності шин і дисків, герметичності паливних і гальмівних магістралей, а також відповідності рівня шкідливих викидів чинним екологічним вимогам. Усе це безпосередньо

зменшує ризик виникнення аварій з технічних причин і підвищує передбачуваність поведінки ТЗ у транспортному потоці.

Водночас у системі технічної експлуатації (далі — ТЕ) ТЗ мережа ПКТС виконує роль зовнішнього елемента контролю якості, який замикає цикл «планування — виконання — перевірка — реагування» (англ. Plan–Do–Check–Act, далі — PDCA) для власників, автоперевізників і станцій технічного обслуговування (далі — СТО). Регулярні результати перевірок трансформуються у дані про фактичні дефекти й тенденції їх виникнення, що допомагає оптимізувати періодичність профілактичних робіт, уточнювати карти технічного обслуговування, планувати запаси запасних частин, розраховувати навантаження на ремонтні зони та коригувати підходи до навчання персоналу. Для автопарків це дозволяє переходити від обслуговування за напруженням до обслуговування за технічним станом (англ. Condition-Based Maintenance, далі — CBM), зменшувати позапланові простої та оптимізувати витрати життєвого циклу.

Інтеграційна місія ПКТС полягає також у формуванні достовірного масиву даних для державної політики у сферах БДР, екології та енергетики. Агреговані результати випробувань на гальмівних стендах, газоаналізаторах і димомірах, вимірювачах світлорозподілу фар та діагностичних сканерах, пов'язаних із системами бортової самодіагностики (англ. On-Board Diagnostics, далі — OBD), після знеособлення можуть бути використані для: виявлення типових дефектів певних моделей; коригування періодичності перевірок для різних категорій; оцінки ефективності регуляторних змін; планування інспекційних заходів; пріоритизації інвестицій у дорожню інфраструктуру. Такі дані створюють основу для ризик-орієнтованого нагляду, коли частота і глибина контролю залежать від профілю ризику ТЗ або перевізника.

Системний ефект ПКТС виходить за межі безпеки: він охоплює екологічні та соціально-економічні результати. Підтримання справності систем керування викидами знижує концентрації забруднювачів повітря в

міських агломераціях, що безпосередньо впливає на здоров'я населення і витрати системи охорони здоров'я. Технічно справні ТЗ споживають менше палива за рахунок коректної роботи двигуна і трансмісії, що зменшує вуглецевий слід і витрати перевізників. Для малого бізнесу та приватних власників прозора й доступна мережа ПКТС забезпечує передбачуваність витрат і підвищує довіру до ринку післяпродажного сервісу.

З погляду просторової організації транспортної системи місце ПКТС визначається балансом між доступністю для користувачів та ефективністю використання обладнання і персоналу. Нерівномірний розподіл парку ТЗ, щільності населення, транспортних потоків і наявної сервісної інфраструктури зумовлює потребу у диференційованих рішеннях для міських ядер, приміських зон і сільських територій. У міських зонах пріоритетом є пропускна здатність і мінімізація часу очікування, тоді як у слабо заселених районах — базове покриття і розумні логістичні плечі підвезення. Саме тому питання розміщення ПКТС має розглядатися як задача просторового планування з чітко сформульованими критеріями доступності (час доїзду, транспортна пов'язаність, бар'єрність), потужності (кількість постів, робочих змін, кваліфікація персоналу), економії (капітальні та експлуатаційні витрати) та стійкості (резервування, безперервність роботи в пікові періоди, енергетична автономність).

Технологічний прогрес посилює роль ПКТС як елементів «розумної» транспортної екосистеми. Інтеграція з інтелектуальними транспортними системами (далі — ІТС), телематичними платформами та державними реєстрами ТЗ відкриває можливості попереднього аналізу ризику на основі реального напрацювання, стилю водіння та історії несправностей, а також переходу до диференційованих графіків перевірок. Використання цифрових протоколів обміну даними та захищених електронних сертифікатів підвищує прозорість ринку й мінімізує людський фактор. Для операторів ПКТС це означає необхідність постійного оновлення випробувального обладнання,

програмних засобів і процедур калібрування, а для держави — підтримку сумісності даних і кібербезпеки.

Організаційно та інституційно мережа ПКТС розташована на перетині інтересів органів державного регулювання, органів місцевого самоврядування, споживачів послуг, перевізників, страхових компаній і СТО. Ефективність системи залежить від прозорості акредитації та нагляду, рівних умов доступу на ринок, уніфікації методик випробувань, обов'язковості ідентифікації ТЗ і відстежуваності результатів, а також від професійної підготовки персоналу. Важливим компонентом є система управління якістю (далі — СУЯ) оператора ПКТС з регламентованими процедурами приймання ТЗ, виконання перевірок, обробки результатів, розгляду апеляцій і зворотного зв'язку з клієнтами. Вбудований аудит і регулярна метрологічна повірка вимірювальних засобів гарантують відтворюваність і достовірність результатів.

Економічна логіка функціонування мережі ПКТС базується на поєднанні регульованих тарифів або ринкових цін з вимогами до капіталомісткого устаткування (гальмівні стенди, люфти-вимірювачі, OBD-сканери, газоаналізатори, димоміри, фотометричні комплекси) і висококваліфікованої праці. Оптимальний масштаб і конфігурація мережі визначаються співвідношенням попиту (кількість і структура ТЗ, їх річні пробіги, сезонність) та пропозиції (кількість постів і змін, час обслуговування, частка повторних оглядів). У цьому контексті багатокритеріальне планування дозволяє одночасно врахувати доступність для користувачів, завантаження обладнання, інвестиційні обмеження, екологічні цілі й регуляторні вимоги.

Підсумовуючи, ПКТС займають системоутворююче місце у сучасній транспортній політиці: вони зменшують технічні ризики і аварійність, підвищують екологічну ефективність, дисциплінують ринок обслуговування, створюють дані для доказового регулювання і стимулюють технологічне оновлення автопарку. Саме тому мережа ПКТС має плануватися як стратегічна інфраструктура з урахуванням просторових, технологічних, інституційних і

економічних вимірів, а також із чіткою інтеграцією в процеси ТЕ ТЗ та систему БДР.

1.2 Огляд і порівняння нормативно-правових вимог

Огляд нормативно-правових вимог до мережі пунктів контролю технічного стану демонструє три рівні регулювання: Україна, Європейський Союз та система Правил Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй (далі — ЄЕК ООН / англ. UNECE). Кожен рівень задає рамки щодо видів контролю, періодичності перевірок, охоплених категорій транспортних засобів та дообладнання й організаційних вимог до самих пунктів.

У ЄС «пакет із придатності до експлуатації» складається з трьох базових актів: Директива 2014/45/ЄС про періодичні тести придатності до експлуатації (англ. Periodic Roadworthiness Tests, далі — ПТІ) [1], Директива 2014/47/ЄС про технічні перевірки на дорозі комерційних ТЗ (англ. Roadside Inspections) [2] та Директива 2014/46/ЄС, що пов'язує результати ПТІ з даними реєстрації й сертифікатом придатності [3]. 2014/45/ЄС встановлює мінімальні інтервали випробувань: для категорій М1 (легкові) та N1 (легкі вантажні) — перший тест через чотири роки від першої реєстрації, далі кожні два роки; для М1, що працюють як таксі/«швидкі», для М2–М3 (автобуси), N2–N3 (важкі вантажні), О3–О4 (важкі причепа) — через один рік і надалі щороку. З 01.01.2022 до сфери ПТІ включено частину L-категорій (двох- і триколісні з ДВЗ понад 125 см³) та окремі швидкі трактори категорій T*b за умов домінуючого руху дорогами; держави можуть деталізувати інтервали для L-категорій самостійно. Акт також визначає мінімальний перелік зон/елементів огляду (гальма, рульове, світлотехніка, ходова, шини/колеса, шкідливі викиди тощо), структуру сертифіката, категоризацію «недоліків» (незначні/значні/небезпечні), а також вимоги до авторизації інспекторів, нагляду за центрами та мінімальні вимоги до приміщень/обладнання (додаток

III) і до систем нагляду (статті 4, 11, 14, додатки II–V). У 2025 році Єврокомісія подала проєкт змін до Директив 2014/45/ЄС і 2014/47/ЄС (COM(2025) 180) [4], де, зокрема, обговорюються альтернативні схеми інтервалів для M1/N1 (наприклад, 6-2-2 або 5-3-2), але ці пропозиції ще перебувають на законодавчому розгляді. Таким чином, для мережевих рішень у ЄС відправною точкою залишаються чинні мінімальні інтервали та вимоги до спроможності й нагляду за ПКТС.

Директива 2014/47/ЄС встановлює комплементарний до ПТІ режим технічних перевірок на дорозі для комерційних ТЗ: відбір за ризик-орієнтованим профілем, рівні інспекції (візуальна/цільова/детальна), пріоритетні елементи безпеки (гальма, шини, світлотехніка, закріплення вантажу) та обмін даними між державами. Це підсилює вимоги до ПКТС опосередковано, адже повторювані дефекти, виявлені «на дорозі», тягнуть за собою посилений нагляд і для випробувальних центрів, і для перевізників. Директива 2014/46/ЄС синхронізує реєстрацію з результатами ПТІ (наприклад, фіксує у реєстраційних даних дату наступної перевірки) та дозволяє призупиняти право користування ТЗ до успішного повторного тесту.

У системі ЄЕК ООН (UNECE) визначальним документом є Угода 1997 року про єдині умови періодичних технічних інспекцій колісних ТЗ та взаємне визнання таких інспекцій [5]. До Угоди належать Правило № 1 (екологічні параметри: викиди забруднювачів, шум, відсутність витоків) і Правило № 2 (питання безпеки: ідентифікація, гальма, рульове, світлотехніка, шини/колеса, шасі, сидіння/ремені тощо) — тобто мінімальний «зміст» ПТІ [6]. Держави-учасниці можуть встановлювати суворіші вимоги або коротші інтервали, але не нижчі за спільно погоджені мінімальні критерії. Для України та країн ЄС ці напрацювання слугують технічною основою гармонізації процедур і переліків випробувань у ПКТС.

Українське регулювання спирається на Закон України «Про дорожній рух» (стаття 35) [7] та Постанову Кабінету Міністрів України № 137 від 30.01.2012 (у редакції від 19.05.2025) [8], якими затверджено Порядок

проведення обов'язкового технічного контролю (далі — ОТК), обсяги перевірок, технічний опис і форму протоколу. Стаття 35 визначає, що ОТК проводять суб'єкти, внесені до відповідного реєстру та забезпечені обладнанням для перевірки відповідності вимогам безпеки руху й екології. Постанова № 137 деталізує процедури, перелік випробувань, форму протоколу, а також (у складі останніх змін) — вимоги до фотовідеофіксації процесу ОТК і посилення доказовості результатів. Додаткові накази Міністерства внутрішніх справ (далі — МВС) унормовують моніторинг і відеофіксацію (наприклад, наказ МВС № 1075 від 27.12.2023, [9]), а Головний сервісний центр МВС (далі — ГСЦ МВС) веде реєстр суб'єктів ОТК та надає роз'яснення щодо періодичності та кола ТЗ, які підлягають контролю.

За категоріями і періодичністю в Україні діє змішана модель: приватні легкові ТЗ категорії М1, що не використовуються у комерційній діяльності, наразі не підлягають ОТК; натомість обов'язковими є перевірки для комерційних легкових (М1, що здійснюють перевезення пасажирів/вантажів за винагороду), для вантажних ТЗ (категорії N), автобусів (М2–М3), таксі, причепів (категорії О) та ТЗ, що перевозять небезпечні вантажі. Типові інтервали такі: для комерційних легкових і легких вантажних до 3,5 т та їхніх причепів — раз на два роки (після перших двох років експлуатації); для вантажних понад 3,5 т, їхніх причепів та для таксі — щороку; для автобусів і для ТЗ, що перевозять небезпечні вантажі, — двічі на рік. ГСЦ МВС публікує ці роз'яснення [10], [11], а оновлена редакція Постанови № 137 (станом на травень–липень 2025 року) підтверджує фото- та відеофіксацію як обов'язкову складову процедури [8].

Вимоги до пунктів і персоналу в Україні та ЄС збігаються за логікою: наявність і підтримання придатності випробувального обладнання (стенди гальм, люфтоміри, прилади світлорозподілу, димоміри/газоаналізатори, зчитувачі бортової діагностики — англ. On-Board Diagnostics, далі — OBD), метрологічна повірка/калібрування, належні приміщення/логістика, електронна передача даних і простежуваність результатів, а також

незалежність/компетентність інспекторів і нагляд (аудити, «таємний покупець», повторні тести на вибірці). Директива 2014/45/ЄС закріплює мінімальні вимоги до приміщень, оснащення, ІТ-систем та органів нагляду, а в Україні відповідні вимоги деталізуються Порядком (№ 137) та підзаконними актами МВС/Мінінфраструктури, включаючи фото- і відеофіксацію, обов'язок зберігати цифрові матеріали й подання до ГСЦ МВС. Окремі національні документи та галузеві стандарти можуть додатково вимагати акредитації випробувальних лабораторій за ДСТУ EN ISO/IEC 17025 у визначеному обсязі випробувань.

Порівнюючи моделі, ЄС задає «планку» мінімальної періодичності та єдині принципи авторизації, нагляду й звітності, UNECE забезпечує технічну матрицю вимог до змісту тестів, а Україна уніфікує процедури ОТК для комерційного сегмента й поступово посилює доказовість (фото/відео) та електронний обмін, зберігаючи водночас звільнення для приватних М1. Для проектування мережі ПКТС це означає: у ЄС від потоку М1/Н1 із циклом «4-2-2-2» і щорічних важких N/O впливають високі вимоги до пропускнуої спроможності міських центрів; в Україні пікове навантаження формують автобусні/ADR-перевізники (двічі на рік) та важкий вантажний транспорт (щороку), а також таксі, що диктує розміщення потужностей поблизу логістичних вузлів і автопарків та пріоритет інвестування у гальмівні стенди високої продуктивності, лінії для «важких» осей і системи фотовідеофіксації. Водночас слід відстежувати ініціативи ЄС щодо коригування інтервалів ПТІ у 2025+ роках, які можуть вплинути на розрахунок попиту й моделі завантаження ПКТС у прикордонних регіонах та в інтегрованих ланцюгах перевезень.

1.3 Підходи до планування сервісних мереж

Підходи до просторового планування мереж сервісних та контрольних об'єктів, зокрема пунктів контролю технічного стану транспортних засобів,

спираються на чотири взаємопов'язані принципи: покриття, доступність, справедливість доступу та стійкість. «Покриття» описує, яку частку попиту система може обслуговувати в межах заданого часу/відстані; «доступність» — наскільки легко користувачі досягають об'єктів з урахуванням транспортного тертя; «справедливість доступу» — як розподілена доступність між соціально-демографічними групами та територіями; «стійкість» — здатність мережі підтримувати прийнятний рівень обслуговування за збурень і відновлюватися до цільових показників. Для проектування мережі ПКТС ці принципи реалізують через класичні моделі розміщення, індикатори доступності у геоінформаційних системах (англ. Geographic Information Systems, далі — GIS), метрики справедливості та рамки оцінювання стійкості.

Покриття найчастіше моделюють у постановках «максимального покриття» та « p -медіани». Задача максимального покриття (англ. Maximal Covering Location Problem, далі — MCLP) спрямована на вибір місць для обмеженої кількості об'єктів, щоб максимізувати попит, охоплений у межах прийняттого часу/відстані; задача p -медіани мінімізує сумарні зважені відстані/час до найближчого об'єкта і тим самим зменшує середні витрати користувачів. Класичні результати показують теоретичні та обчислювальні зв'язки між p -медіаною, сет-коверингом і MCLP, що дозволяє вибирати модель залежно від цілей — «максимальний охопит базового попиту» чи «мінімізація середнього часу доїзду» [13], [14], [15]. Для ПКТС це означає: якщо політика акцентує «жоден користувач не має бути надто далеко», застосовують MCLP; якщо пріоритет — «зменшити середній тягар поїздки на огляд», — p -медіану, інколи з обмеженнями потужності пунктів та бюджетними обмеженнями [14], [15].

Доступність у транспортному плануванні визначається як «потенціал до взаємодії» або «можливість досягнення активностей» (англ. accessibility). Вона поєднує просторове розміщення попиту та пропозиції, транспортні витрати (час, вартість, зусилля) і конкуренцію за ресурси. Класична дефініція заклала основу для гравітаційних індексів доступності з функціями затухання відстані;

сучасні огляди узагальнюють спектр показників — від кумулятивних «час-дозони» до гравітаційних балів із вагуванням можливостей [16], [17], [18]. Для мережі ПКТС практичними є: (1) ізохронні індикатори «скільки населення/парку транспортних засобів доїжджає за T хвилин», (2) гравітаційні індекси «доступність = сума(пропускна здатність ПКТС / f(час))», (3) часові перцентилі (медіана, 90-й перцентиль) для контролю «довгих хвостів» погано забезпечених локацій [16], [17].

Для сервісних систем із чергами важлива конкуренція за потужність. Тут корисна методика «двокрокової плинної зони досяжності» (англ. Two-Step Floating Catchment Area, далі — 2SFCA): спочатку обчислюють, яка чисельність попиту «ділиться» на потужність кожного пункту в межах порогу часу, далі — кожній території агрегують доступність через усі досяжні пункти з урахуванням цього коефіцієнта завантаження. Розширення E2SFCA додає затухання з відстанню всередині порогу (менші ваги для довших поїздок). Для ПКТС 2SFCA добре відбиває «ефект черги»: пункт із великою пропускною здатністю, але густим попитом навколо фактично «дорожчає» у доступі [19], [20].

Справедливість доступу (англ. equity) ставить питання, «кому» і «як» розподілена доступність, виходячи з етичних рамок (утилітаризм, егалітаризм Джона Роулза, підхід спроможностей Амартії Сена та Марти Нуссбаум). Сучасна транспортна література радить фокусуватися на розподілі доступності як людської спроможності, а не лише на рівних відстанях. На практиці це означає: поряд із середніми значеннями необхідно вимірювати дисперсію/нерівність (індекси Джині/Тейла для доступності), частку населення нижче порогової доступності, а також «гарантовану» мінімальну доступність для вразливих груп (домогосподарства з низькими доходами, люди з інвалідністю, сільські території). Для мережі ПКТС це може бути вимога «90 % населення/парку ТЗ — у ≤ 30 хв від пункту», а також додаткові лінії або дні виїзних оглядів у районах з низькою щільністю попиту [21], [22].

Стійкість (англ. *resilience*) мережі ПКТС — це її спроможність витримувати та швидко долати збурення (вихід з ладу обладнання, пікові навантаження, надзвичайні події), зберігаючи прийнятний рівень сервісу. Для оцінки застосовують метрики з літератури з інфраструктурних систем і транспортних мереж: робастність (яка частка продуктивності зберігається при втраті вузлів/ребер), надмірність/резервування (ступінь дублювання потужностей і маршрутів), час відновлення (до повернення показників доступності/пропускнуої здатності до цільових рівнів), удароміцність до пікових навантажень, а також інтегровані індекси площі під «кривою працездатності» до та після шоку. Для ПКТС це транлюється у вимоги до альтернативних локацій у межах прийнятних ізохрон, мобільних оглядових ліній для аварійного розгортання та процедур перенаправлення потоків при відмовах. Нові дослідження мережевої стійкості вказують на доцільність багат шарових моделей (транспорт ↔ енергетика ↔ зв'язок), що важливо для ПКТС із енергозалежним випробувальним обладнанням та онлайн-реєстрами [23], [24], [25].

Узгодження чотирьох принципів у єдиній методиці часто реалізують як «дворівневий» підхід: спершу будується карта придатності локацій з урахуванням доступності та просторових обмежень (зонування, земельні ділянки, електроживлення), а далі розв'язується задача розміщення з багатьма цілями — мінімізувати середній/перцентильний час доїзду, максимізувати покриття, мінімізувати витрати, забезпечити мінімальний рівень доступності для пріоритетних груп — із подальшим аналізом Парето-фронту та чутливості до ваг. Класичні та оглядові праці з розміщення дають практичні орієнтири щодо вибору моделі (MCLP проти *p*-медіани) та її поєднання з метриками доступності у GIS [13], [14], [15], а сучасні керівництва з оцінювання доступності — щодо добору індикаторів і порогів для моніторингу політики [16], [17].

1.4 Методи багатокритеріального прийняття рішень

Методи багатокритеріального прийняття рішень (англ. Multi-Criteria Decision Making, далі — MCDM) застосовують, коли альтернативи оцінюються за кількома, часто конфліктними критеріями. У практиці просторового планування мереж пунктів контролю технічного стану це дає змогу зважити доступність, інвестиції, пропускну здатність, екологічні ефекти та регуляторні вимоги в єдиній процедурі ранжування або вибору. Нижче подано стислий огляд найуживаніших підходів — аналітичного ієрархічного процесу (англ. Analytic Hierarchy Process, АНР), аналітичного мережевого процесу (англ. Analytic Network Process, ANP), методів TOPSIS, VIKOR, сімейств PROMETHEE та ELECTRE — із акцентом на їх сильні та слабкі сторони.

Аналітичний ієрархічний процес АНР ґрунтується на декомпозиції задачі у вигляді ієрархії «мета — критерії — підкритерії — альтернативи» та парних порівняннях елементів на кожному рівні за 9-бальною шкалою. Для кожної матриці парних порівнянь $A = (a_{\{ij\}})$ знаходять пріоритетний вектор w (власний вектор найбільшого власного значення), після чого локальні ваги перемножують уздовж ієрархії, щоб отримати глобальні пріоритети альтернатив. Узгодженість суджень контролюють через індекс/коефіцієнт узгодженості (англ. Consistency Ratio), що порівнює відхилення λ_{max} від ідеальної узгодженості з випадковою матрицею того самого розміру. Сильні сторони АНР: прозорість для експертів, перевірка узгодженості, групова агрегація суджень. Слабкі: чутливість до шкали та можливих «аномалій рангу» (rank reversal) при додаванні/вилученні альтернатив, а також припущення про незалежність критеріїв. Для ПКТС АНР зручний на етапі еліцитації ваг критеріїв і побудови «карти придатності» локацій, якщо взаємозв'язки між критеріями незначні [26], [27].

Аналітичний мережевий процес ANP є узагальненням АНР для випадків, коли між кластерами/критеріями існує взаємний вплив (залежності й зворотні

зв'язки). Структура моделі — мережа кластерів (критерії, альтернативи, зацікавлені сторони тощо) з дугами впливу; локальні пріоритети з парних порівнянь формують зважену надматрицю, яку нормують до стохастичної «суперматриці», а глобальні ваги отримують у стаціонарному розподілі (піднесенням матриці до великого степеня). Сильні сторони ANP: явне моделювання залежностей/зворотного зв'язку, краща репрезентація реальних політик (наприклад, вплив «місця» на «витрати», і навпаки). Слабкі: вища трудомісткість опитування та обчислень, складніша візуалізація, потреба у якісній програмній підтримці й ретельному проектуванні мережі залежностей [28].

Метод TOPSIS (англ. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) припускає існування ідеальної A^+ та антиідеальної A^- альтернатив; нормовану та зважену матрицю оцінок \tilde{x}_{ij} приводять до відстаней $D_i^+ = \sqrt{\sum_j w_j (\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_j^+)^2}$ і $D_i^- = \sqrt{\sum_j w_j (\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_j^-)^2}$ після чого обчислюють відносну близькість $C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$ і ранжують C_i за спаданням. Сильні сторони: простота реалізації, інтуїтивність «тяготіння» до ідеалу, стабільність до невеликих змін шкал. Слабкі: евклідова метрика не враховує кореляцію критеріїв; можливий ефект «компенсації» (дуже поганий бал за одним критерієм може «перекриватися» іншими); чутливість до нормування/ваг. Для ПКТС TOPSIS добре підходить для швидкого ранжування локацій за багатьма кількісними критеріями з мінімумом суб'єктивізму після фіксації ваг [29].

Метод VIKOR (акронім від серб. ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje — «багатокритеріальна оптимізація та компромісне рішення») шукає компроміс відносно «найкращого» значення кожного критерію, комбінуючи міру групової переваги $S_i = \sum_j w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$ та індивідуального максимального відхилення $R_i = \max_j w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$. Індикатор компромісу $Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^*}{R - R^*}$ з параметром $v \in [0,1]$ (часто $v = 0,5$)

балансує «більшість критеріїв» і «найкритичніше відхилення». Сильні сторони: явна інтерпретація компромісу, перевірки «переваги» та «стійкості» розв'язку; у порівнянні з TOPSIS краще контролює «домінування» за найгіршим критерієм. Слабкі: залежність від вибору v_{vv} , потреба у нормуванні, чутливість до екстремальних значень. Для ПКТС VIKOR корисний, коли політика прагне збалансувати «середню» доступність і «найгірший» район (мінімакс-логіка) [30].

Сімейство PROMETHEE (англ. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) — це «аутранкінг» підхід (побудова відношення переваги на основі парних порівнянь альтернатив за кожним критерієм через функцію переваги). Для кожного критерію задають тип функції переваги та вагу; для пари альтернатив (a, b) обчислюють узагальнену перевагу $\pi(a, b) \in [0, 1]$, далі — додатний/від'ємний потоки $\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \neq a} \pi(a, b)$, $\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \neq a} \pi(b, a)$ і чистий потік $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$. PROMETHEE I дає частковий порядок (з урахуванням несумірності), PROMETHEE II — повний порядок за ϕ ; візуальний інструмент GAIA допомагає тлумачити конфлікти критеріїв. Сильні сторони: гнучкість (різні функції переваги), здатність відбивати несумірність, добра інтерпретованість потоків. Слабкі: вимога ретельно калібрувати пороги/типи функцій, чутливість до вибору порогів, менша «канонічність» порівняно з АНР/TOPSIS для неекспертної аудиторії. Для ПКТС PROMETHEE корисний, коли потрібно явно контролювати «небайдужість/перевагу/внесумірність» між локаціями, задаючи реалістичні пороги чутливості вимірювань [31], [32].

Сімейство ELECTRE (фр. ELimination et Choix Traduisant la REalité — «елімінація та вибір, що відбивають реальність») також належить до «аутранкінг» методів і спирається на індекси конкордансу/дискордансу: альтернатива a «аутранкує» b (тобто a є прийнятно не гіршою за b), якщо множина критеріїв, де a не гірша за b , є достатньо «вагомою» (високий конкорданс), і немає «заборонно» великих програшів за окремими критеріями

(низький дискорданс). Різні версії (ELECTRE I, IS/IV, TRI, SCORE тощо) призначені для відбору, ранжування або класифікації. Сильні сторони: добре працює за сильно конфліктних критеріїв, дозволяє фіксувати пороги байдужості/переваги/вітоплення (veto), забезпечує часткові порядки з «несумірністю». Слабкі: багато параметрів (пороги, ваги, правила агрегації), потреба у калібруванні й чутливісному аналізі; інтерпретація результатів для широкої аудиторії може бути складнішою. Для ПКТС ELECTRE доцільний, коли політика забороняє «компенсацію» критичних провалів (наприклад, великі витрати не можуть «перекрити» неприйнятно довгий час доступу у вразливому районі) [33], [34].

Зіставні огляди й порівняльні дослідження вказують: (i) методи «наближення до ідеалу» (TOPSIS) і «компромісу» (VIKOR) часто дають корельовані ранги, але інакше поведуться із «хвостами» розподілу критеріїв; (ii) «аутранкінг» (PROMETHEE/ELECTRE) краще моделює несумірність і «вето», однак вимагає калібрування порогів; (iii) АНР є базовим «каркасом» для еліцитації ваг і прозорості участі експертів, тоді як АНР дозволяє враховувати взаємозалежності; (iv) усі методи чутливі до нормування та вибору ваг, тому обов'язковий аналіз чутливості й сценарні тести. Практичний висновок для мереж ПКТС: ваги критеріїв (безпека/доступність/економіка/стійкість) краще визначати через АНР/АНР; для відбору локацій комбінувати карту придатності з TOPSIS або VIKOR (коли потрібен «компроміс»), а для фінального погодження — перевіряти рішення «аутранкінгом» із реалістичними порогоми та «вето» (PROMETHEE/ELECTRE); у всіх випадках — виконувати тест на стабільність рангу і домінування «найгіршого» критерію [30], [31], [33], [35].

1.5 Інтеграція MCDM з задачами розміщення

Інтеграція методів багатокритеріального прийняття рішень із класичними задачами розміщення-призначення дозволяє поєднати

якісні/регуляторні уподобання із суворими мережевими оптимізаційними моделями. Для мережі пунктів контролю технічного стану транспортних засобів це зазвичай відбувається у двох зв'язаних кроках: спершу за допомогою MCDM формують «карту придатності» кандидатних локацій (ваги критеріїв із АНР/АНР; ранжування TOPSIS/VIKOR; пороги/вето з PROMETHEE/ELECTRE), далі цю інформацію вбудовують у математичні постановки p -median або максимального покриття з обмеженнями потужності, бюджету та норм. Базові мережеві моделі такі. Модель p -median мінімізує сумарний «тягар доїзду» при фіксованій кількості об'єктів p :

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i d_{ij} x_{ij},$$

I — пункти попиту,

J — кандидати,

w_i — ваги попиту,

d_{ij} — відстань/час,

x_{ij} — бінарне призначення попиту i до відкритого об'єкта j ,

y_j — «відкрити/не відкрити»; з обмеженнями $\sum_j x_{ij} = 1$, $x_{ij} \leq y_j$, $\sum_j y_j = p$, $x_{ij}, y_j \in \{0,1\}$ [36], [37].

Альтернатива — задача максимального покриття (англ. Maximal Covering Location Problem, далі — MCLP):

$$\max \sum_{i \in I} w_i z_i,$$

де $z_i = 1$, якщо i «покрито» хоча б одним відкритим j у межах порогу S ; обмеження: $z_i \leq \sum_{j \in N(i)} y_j$, $\sum_j y_j \leq p$, $y_j, z_i \in \{0,1\}$ [38], [39]. У практиці ПКТС p -median мінімізує середній час/відстань до огляду, тоді як MCLP гарантує базовий «радіус доступності» для максимальної частки парку.

Теорію, алгоритми та розширення (включно з *p-center*, *set covering*, *fixed-charge* та *hub*-моделями) системно подано в монографії М. Даскіна [37].

Обмеження потужності та черги природно інтегруються в обидві моделі. Для *p-median* додають обмеження $\sum_i q_i x_{ij} \leq C_j y_j$, де q_i — інтенсивність попиту (наприклад, кількість оглядів/рік), C_j — пропускна здатність лінії випробувань; ця постановка відома як *saracitated p-median* і використовується для запобігання «перевантаженню» міських пунктів [37].

Для MCLP застосовують варіанти «потужнісного покриття», коли кожен об'єкт має максимальне робоче навантаження, а також покриття з резервуванням/бек-ап рівнів обслуговування (щоб зменшити ризики відмов та сезонних піків) [40], [41]. Бюджетні обмеження типово задають як $\sum_i c_j y_j \leq B$, де c_j — витрати (капітальні, монтаж, підведення електроживлення/ІТ), B — бюджет; це узагальнює «обмеження на кількість об'єктів» і дозволяє диференціювати витратність локацій [37].

Регуляторні обмеження вкладають у просторову, доступнісну та якісну «рамку» задачі. Просторові: заборонені/переважні зони (санітарні розриви, зонування, відстані до житлової забудови й магістралей) реалізують як фільтрацію множини J або «великі штрафи» у цільовій функції. Доступність: максимальний час/відстань доїзду для цільових груп зазвичай гарантують у MCLP (порог S) або через обмеження типу *p-center*; мінімальну частку покриття для підгруп (райони з низькою щільністю, промзони, прикордонні території) імплементують як $\sum_{i \in G} w_i z_i \geq \alpha_G \sum_{i \in G} w_i$. Якісні вимоги: унешують локації, які не відповідають вимогам до обладнання/енергопостачання/ІТ, або вводять пороги «придатності» $s_j \geq s_{\min}$, якщо s_j — інтегральна оцінка MCDM. В оглядах М. Фарагані та співавторів наведено типові багатокритеріальні конструкції для *facility location*, включно з критеріями «ефективність↔справедливість», «доступність↔витрати» та «стійкість мережі» [42].

Способи інтеграції MCDM: (а) «на вході» — результати АНР/АНР фіксують як ваги критеріїв для нормалізованих показників і формують бал s_j придатності, який використовується в p -median/MCLP як додатковий термін (наприклад, $\min \sum_i \sum_j w_i d_{ij} x_{ij} - \gamma \sum_j s_j y_j$) або поріг $s_j \geq s_{min}$; (б) «багатоцільова постановка» — одночасно мінімізують середній час, максимізують покриття, мінімізують витрати й максимізують s_j , проводячи пошук Парето-оптимальних рішень. Для обчислювальної реалізації багатокритеріальні location–allocation широко розв’язують методом ε -обмежень (ε -constraint): одну мету залишають у цілі, решту — переносять у систему обмежень із параметрами ε ; послідовна зміна ε відтворює фронт Парето. Практичні рекомендації щодо «ефективної» реалізації ε -constraint (з «розширеннями» AUGMECON/AUGMECON-R для цілих змінних) подано в працях Г. Мавротаса та наступних дослідженнях [43], [44]. Для задач великої розмірності застосовують евристики/метаевристики (табуа-пошук, GRASP, генетичні алгоритми), зокрема для p -median — класичні процедури табуа-пошуку демонструють близько-оптимальні рішення за прийнятний час [45].

Окремий клас обмежень стосується «справедливості». Їх інтегрують або як додаткові цілі (мінімізувати дисперсію/перцентиль 90% часу доїзду), або як «соціальні» обмеження (гарантований мінімум покриття для кожної зони, верхні межі для медіани/перцентилів часу доступу). Огляд Марша і Шиллінга систематизує показники справедливості у facility location та підказує робочі формулювання для обмежень «ефективність↔справедливість» [45]. Для мереж ПКТС це означає, що навіть якщо оптимальне (за середнім часом) рішення «тягне» локації в агломерації, модель має містити обмеження на «довгі хвости» периферії — через покриття/пороги або мінімакс-складову.

Насамкінець, практична «зв’язка» виглядає так: 1) еліцитувати ваги критеріїв та збудувати s_j (АНР/АНР, за потреби — з урахуванням залежностей), 2) зібрати мережеві дані (відстані/час, попит, потужності, витрати), 3) вибрати базову постановку (p -median для мінімізації середнього

тягаря; MCLP — для гарантування радіусів доступу), 4) додати обмеження потужності, бюджету та регуляторні/соціальні пороги, 5) розв'язати багатокритеріально (ϵ -constraint або вагове згортання) і 6) перевірити чутливість (ваги/пороги/бюджет) та «стійкість» рішення до відмов/піків. Класичні джерела з теорії розміщення (p-median, MCLP), потужнісні розширення, а також сучасні огляди з багатокритеріальної оптимізації надають методичну основу для такої інтеграції [37]–[45].

Висновки до розділу

Узагальнено теоретико-методичні та нормативні засади формування мережі пунктів контролю технічного стану транспортних засобів як системоутворюючої інфраструктури безпеки дорожнього руху і технічної експлуатації транспортних засобів. ПКТС виконують роль незалежного «фільтра ризику»: вони перетворюють вимоги регламентів на підтвержені показники справності ключових систем, розриваючи причинний ланцюг «несправність → інцидент». Для власників і перевізників ПКТС замикають цикл удосконалення на основі даних (підхід PDCA), створюючи інформаційний базис для переходу від регламентного до стан-орієнтованого обслуговування та оптимізації витрат життєвого циклу.

Порівняльний огляд регулювання (Україна — Європейський Союз — Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй) показує конвергенцію принципів контролю: у ЄС Директива 2014/45/ЄС задає мінімальні інтервали і вимоги до спроможності центрів, Директива 2014/47/ЄС — дорожні перевірки, Угода ЄЕК ООН 1997 року — технічну «матрицю» екологічних та безпекових вимог. В Україні обов'язковий технічний контроль поширюється на комерційні ТЗ, автобуси, вантажні автомобілі, таксі, причепи й перевезення небезпечних вантажів, посилений вимогами фотовідеофіксації та електронного обміну даними. Це прямо впливає на просторове планування: у містах навантаження зумовлюють

щорічні/піврічні цикли для комерційного та громадського транспорту, на периферії — потреба гарантувати базове покриття у прийнятних ізохронах.

Просторове планування мережі повинне одночасно забезпечити чотири цілі: покриття, доступність, справедливість доступу та стійкість. Покриття визначає частку попиту в межах порога часу/відстані; доступність — «легкість досягнення» послуг із урахуванням транспортного тертя й конкуренції за потужності; справедливість доступу — відсутність «довгих хвостів» у вразливих територій і груп; стійкість — здатність мережі підтримувати сервіс під час збурень і швидко відновлюватися. Геоінформаційні системи та індикатори на кшталт ізохрон, гравітаційних індексів і методів двокрокової плинної зони досяжності (2SFCA/E2SFCA) дають прикладний інструментарій для кількісної оцінки цих цілей до й після оптимізації.

Методи багатокритеріального прийняття рішень (MCDM) забезпечують прозору агрегацію різнорідних критеріїв. Аналітичний ієрархічний процес (AHP) зручний для еліцитації ваг та перевірки узгодженості експертних суджень; аналітичний мережевий процес (ANP) дозволяє моделювати взаємозалежності між критеріями; методи наближення до ідеалу і компромісу (TOPSIS, VIKOR) ефективні для швидкого ранжування кандидатів; «аутранкінг» (PROMETHEE, ELECTRE) уможливує пороги байдужості/переваги та «вето», коли неприпустимі критичні провали (наприклад, надмірний час доступу в соціально вразливих районах). Ключові ризики — чутливість до нормування, вибору ваг і параметрів — знімаються обов'язковим аналізом чутливості та сценарним тестуванням.

Інтеграція MCDM з класичними задачами розміщення-призначення формує операційну методику. Карта придатності локацій (інтегральний бал або поріг) стає «вхідним сигналом» для моделей p -median (мінімізація середнього тягара поїздки) та максимального покриття з обмеженнями потужності, бюджету й норм. У результаті отримується рішення, що одночасно: (1) тримає середній/перцентильний час доїзду на прийнятному рівні, (2) гарантує радіуси доступності для максимальної частки парку, (3) дотримується фінансових і

регуляторних лімітів, (4) убезпечує мережу від відмов за рахунок резервування та альтернативних локацій.

Для забезпечення «справедливості» та «стійкості» доцільно поєднувати багатокритеріальну оптимізацію з додатковими обмеженнями: гарантований мінімум покриття для визначених груп територій; верхні межі для медіани/90-го перцентиля часу доступу; обов'язкові вимоги до енергетичної/ІТ-інфраструктури й можливостей фотовідеофіксації. Багатоцільове розв'язання слід виконувати методами ϵ -обмежень (ϵ -constraint) або їх розширеннями (AUGMECON/AUGMECON-R) з побудовою Парето-фронту, після чого — перевіряти стабільність ранжувань і робастність до зміни ваг, попиту та сценаріїв відмов.

Загалом, в розділі обґрунтовано концепцію мережі ПКТС як стратегічної інфраструктури з дано-керованим управлінням: нормативні вимоги задають «мінімальні бар'єри» безпеки та якості; просторові принципи — «географію» попиту і сервісу; MCDM — прозору інтеграцію багатоцільових пріоритетів; моделі p-median/MCLP — операційну реалізацію з урахуванням потужності, бюджету та регуляторики. Це формує методичний «каркас» подальших етапів: збір і підготовка даних, калібрування ваг і порогів, побудова карт придатності, багатокритеріальна оптимізація конфігурації мережі, сценарний аналіз і валідація рішень на реальному пілотному регіоні.

2 СИСТЕМА КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ РОЗТАШУВАННЯ ПУНКТІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

2.1 Класифікація пунктів контролю технічного стану

Класифікація пунктів контролю технічного стану транспортних засобів у контексті планування мережі має бути багатоосьовою, тобто такою, що відображає одночасно функції контролю, технічне оснащення, пропускну здатність, просторову роль у мережі, регуляторний статус та цифрову зрілість. Така класифікація потрібна для коректного моделювання попиту, визначення стандартизованих вимог до обладнання й персоналу, а також для параметризації задач розміщення-призначення. Нижче подано узгоджену систему ознак, що надалі використовуватиметься як «паспорт» типів ПКТС у розрахунках (табл. 2.1) [46].

Таблиця 2.1 – Класифікація пунктів контролю технічного стану транспортних засобів

Ознака класифікації	Підтип / значення	Короткий опис / пояснення	Приклад застосування
Функціональне призначення	ОТК (періодичний контроль)	Стандартизована перевірка дорожньої придатності у встановлені інтервали.	Плановий огляд комерційних М1/Н1, автобусів М2–М3, вантажних Н2–Н3, причепів О3–О4.
	Спеціалізовані (автобуси/ADR)	Посилені процедури для автобусів, небезпечних вантажів (ADR) та важких ТЗ.	Огляд міжміських автобусів; транспорт з небезпечними вантажами.
	Поглиблена повторна перевірка	Контроль після усунення невідповідностей, деталізація дефектів.	Повторний огляд після незадовільного результату ОТК.

Ознака класифікації	Підтип / значення	Короткий опис / пояснення	Приклад застосування
	Мобільні/виїзні пункти	Тимчасові або сезонні розгортання у віддалених зонах/під час піків.	Сезонні кампанії у сільських громадах; підтримка великих автопарків.
	Допоміжні при дорожніх перевірках	Підтримка інспекцій на дорозі для комерційних ТЗ (формат скринінгу).	Спільні рейди з наглядовими органами.
Категорії ТЗ (охоплення)	L/M1/N1 (легкі)	Легкові, легкі вантажні, окремі L-категорії за умов регулятора.	Міські та приміські ПКТС загального профілю.
	M2–M3/N2–N3 (важкі)	Автобуси та важкі вантажні транспортні засоби.	Логістичні/транзитні вузли, прикордонні ПКТС.
	O3–O4 (важкі причепа)	Причепа та напівпричепа великої маси.	Порти, термінали, великі АТП.
	Спеціалізовані (таксі, спецпризначення)	Таксі, спецтехніка, інші спеціалізовані ТЗ з додатковими вимогами.	Міські зони з високою часткою таксі.
Конфігурація лінії	Базова	Для легких ТЗ та універсальних перевірок.	Стандартні міські/районні центри.
	Посилена (важкі осі/4x4)	Для важких ТЗ, повного приводу, складних випробувань.	Прикордонні/логістичні вузли, великі АТП.
	Модульна/мобільна	Швидкорозгортання та конфігурація з автономним живленням.	Віддалені громади, сезонні піки.
Пропускна здатність і режим	Мала (≤ 20 /лінію/добу)	Низький потік; одно- або півзмінний режим.	Сільські/віддалені точки.
	Середня (20–50/добу)	Стабільний потік; робота у 1–2 зміни.	Районні центри, малі міста.

Ознака класифікації	Підтип / значення	Короткий опис / пояснення	Приклад застосування
	Висока (>50/добу)	Великі потоки; багатолінійні рішення; подовжені зміни в піки.	Агломерації, логістичні вузли.
	Сезонні/пікові розширення	Тимчасове збільшення потужності в періоди масового ОТК.	Кампанії оновлення протоколів/документів.
Просторова роль у мережі	Якорний міський центр	Висока продуктивність, сервіс для змішаного попиту.	Обласні центри, міські агломерації.
	Районний/периферійний вузол	Гарантує базове покриття у прийнятній ізохроні.	Районні центри, периферія міст.
	Транзитний/логістичний вузол	Орієнтація на комерційний трафік і причепи.	Поблизу портів/терміналів, індустріальних парків.
	Прикордонний пункт	Спрямованість на міжнародний рух; високі вимоги до спроможності.	Пункти пропуску, митниці.
	Віддалена/сільська точка	Низький попит; акцент на доступність і автономність.	Малі громади, гірські райони.
Інституційна модель	Самостійні ПКТС	Незалежні від СТО, повна відповідальність оператора.	Приватні або комунальні центри.
	Інтегровані із СТО	Спільна локація зі станцією ТО, розмежування процесів і прозорість.	Великі СТО з лінією ОТК.
Цифрова зрілість	Рівень 1 — базова цифровізація	Е-протоколи, фотофіксація, OBD, базова звітність.	Більшість базових ПКТС.
	Рівень 2 — інтегрована взаємодія	API-обмін із реєстрами, е-сертифікати, онлайн-бронювання.	Міські центри, прикордонні вузли.

Ознака класифікації	Підтип / значення	Короткий опис / пояснення	Приклад застосування
	Рівень 3 — аналітика/ризик-орієнтованість	Прогноз навантаження, стратифікація ризику, контроль узгодженості даних.	Мережеві оператори, пілоти «розумних» ПКТС.

За функціональним призначенням варто виокремити: (1) пункти періодичного обов'язкового технічного контролю (далі – ОТК), що підтверджують дорожню придатність у встановлені інтервали; (2) спеціалізовані пункти для цільових категорій (автобуси, вантажні автомобілі, причепа з великою масою, транспорт для перевезення небезпечних вантажів), де потрібні посилені випробувальні лінії та додаткові процедури; (3) пункти поглибленої повторної перевірки після виявлених невідповідностей; (4) виїзні/мобільні пункти для віддалених територій або пікових навантажень; (5) пункти придорожного контролю у взаємодії з органами нагляду (допоміжна функція щодо дорожніх перевірок).

За охопленням категорій транспортних засобів пропонується поділ на три базові підтипи: L/M1/N1 (легкі ТЗ) з акцентом на легкові автомобілі, легкі вантажні та частину двоколісних/триколісних; M2–M3/N2–N3/O3–O4 (важкі ТЗ і автобуси/причепа) з потребою у важких гальмівних стендах, оглядових ямах/підйомниках підвищеної вантажопідйомності та обладнанні для перевірки закріплення вантажу; спеціалізовані (таксі, ТЗ спеціального призначення, транспорт небезпечних вантажів), де додаються додаткові процедури та документальні перевірки.

За конфігурацією випробувальної лінії та технічним оснащенням: базові лінії (роликівий гальмівний стенд до 3,5 т, прилад для контролю світлотехніки, люфтомір, димомір/газоаналізатор, зчитувач бортової діагностики — OBD); посилені лінії (стенди для осей >11–13 т, ролики для повного приводу, перевірка стоянкового гальма важких ТЗ, обладнання для оцінки закріплення вантажу, вимірювання геометрії ходової частини); модульні/мобільні лінії

(контейнерні рішення для тимчасового розгортання). Додатково виділяють рівні автоматизації: від ручного введення даних до повної інтеграції з електронним протоколюванням, фотовідеофіксацією та захищеним обміном із центральними реєстрами.

За пропускнуою здатністю і режимом роботи: малі (до 20 оглядів/добу на лінію), середні (20–50/добу) та високопродуктивні (>50/добу) з поділом на одно- і багатолінійні конфігурації; за режимом — однозмінні, двозмінні та пікові/сезонні розширення (подовжені зміни у періоди масового проходження ОТК).

За просторовою роллю у мережі: якорні міські центри (максимальна продуктивність, сервіс для змішаного попиту, короткі часи доїзду в агломерації), периферійні/районні вузли (забезпечення базового покриття у прийнятних ізохронах), транзитні/логістичні вузли (поблизу складів, індустріальних парків, митниць, портів/терміналів), прикордонні пункти (орієнтація на комерційний/міжнародний рух) та віддалені/сільські точки (часто з мобільним або гібридним рішенням і плановими виїздами).

За інституційно-організаційною моделлю: самостійні ПКТС (незалежні від станцій технічного обслуговування), інтегровані з СТО (за умови розмежування процесів і прозорості).

За рівнем цифрової зрілості: рівень 1 — базова цифровізація (електронний протокол, сканери OBD, фотофіксація), рівень 2 — інтегрована взаємодія (онлайн-бронювання, електронні сертифікати, API-обмін із державними реєстрами, верифікація даних), рівень 3 — аналітика та ризик-орієнтованість (прогнозування навантаження, попередня стратифікація ризику парку, автоматизований контроль узгодженості даних). Така градація важлива для сценаріїв диференційованої періодичності чи глибини перевірки залежно від ризикового профілю.

Запропонована класифікація є взаємно доповнюваною: кожному реальному пункту відповідає профіль за всіма ознаками (функція, категорії ТЗ, оснащення, продуктивність, просторова роль, організаційна модель, цифрова

зрілість). У подальших підпунктах розділу 2 ці ознаки трансформуються в систему критеріїв оцінювання та ваги для багатокритеріальної процедури MCDM, а також у параметри мережевих моделей (часи/відстані, пропускні здатності, витрати, регуляторні пороги). Це забезпечує узгодженість між стратегічними цілями (доступність, справедливість доступу, стійкість) та операційною реалізацією (оптимальна кількість і конфігурація ПКТС у міських, приміських і сільських зонах).

2.2 Формування системи критеріїв оцінювання локацій ПКТС

Система критеріїв для відбору локацій пунктів контролю технічного стану транспортних засобів має бути одночасно повною, вимірюваною та придатною до багатокритеріальної оптимізації. Нижче подано узгоджений набір критеріїв із пропозиціями показників, джерел даних, способів нормування та прикладами порогів (табл. 2.2) [47].

Таблиця 2.2 – Система критеріїв оцінювання локацій ПКТС [47]

Критерій	Сутність	Базові показники	Нормування	Пороги/вето
1) Транспортний попит	Де і коли формується потреба в ОТК (обов'язковий технічний контроль) з огляду на парк транспортних засобів (ТЗ) і їхню активність.	(а) Чисельність парку ТЗ у зоні обслуговування (шт. у межах ізохрони Т хв); (б) Щорічні/піврічні обсяги ОТК за категоріями (М1/Н1, М2–М3/Н2–Н3, О3–О4, таксі, АDR); (в) Річний пробіг/інтенсивність використання (км, середньодобові поїздки); (г) Сезонність попиту; (г) Наявність великих автопарків/логістичних вузлів.	Для кожної локації розраховується попит D (очікувана кількість оглядів/рік) і масштабується: $S_D = 100 \frac{D - D_{min}}{D_{max} - D_{min}}$ За потреби виділяють підкритерії «легкі ТЗ» та «важкі ТЗ» з вагами.	Якщо D нижчий за мінімум, потрібний для окупності лінії, локація отримує «умовне схвалення» лише за наявності мобільного/виїзного рішення.

Критерій	Сутність	Базові показники	Нормування	Пороги/вето
2) Безпека та ризик	Пріоритизація територій, де контроль технічного стану найбільше знижує ризики для безпеки дорожнього руху.	(а) Частка ДТП з імовірним технічним фактором; (б) Результати дорожніх скринінгів/перевірок (частка невідповідностей під час інспекції на дорозі, особливо для комерційних ТЗ); (в) Індекс ризику маршрутів (ділянки з високою аварійністю, підйоми/спуски, переїзди); (г) Профіль перевезень (ADR, пасажирські автобуси).	Негативні показники перетворюються у «потребу контролю». R — стандартизована частка невідповідностей; нормована оцінка: $S_R = 100 \frac{R - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$.	«Вето» за критично високого ризику: локації в зонах інтенсивних комерційних потоків із високою часткою порушень отримують пріоритет навіть за вищої вартості.
3) Доступність	Зручність і рівність доступу для користувачів мережі.	(а) Медіанний час доїзду до ПКТС у годину пік (хв); (б) 90-й перцентиль часу доїзду; (в) Частка населення/парку ТЗ, що досягає ПКТС за Т хв; (г) Гравітаційний індекс доступності з урахуванням пропускної здатності (2SFCA/E2SFCA).	Для часу — інверсія: наприклад, $S_{t50} = 100 \frac{t_{50max} - t_{50}}{t_{50max} - t_{50min}}$. Для частки покриття та індексів — «чим більше, тим краще».	Гарантувати «базовий доступ»: ≥ 90 % парку ТЗ у межах ≤ 30 хв; додаткові пороги для вразливих/периферійних громад.
4) Економіка	Життєздатність і ефективність інвестицій у локацію.	(а) Капітальні витрати (земля, підготовка ділянки, підведення електро/зв'язку, лінія випробувань); (б) Операційні витрати (персонал, енергія, метрологія, IT-сервіси); (в) Очікувані доходи; (г) Строк окупності, NPV/IRR; (г) Чутливість до сезонності.	Витрати \rightarrow індекс привабливості: $S_E = 100 \frac{c_{max} - c}{c_{max} - c_{min}}$, де С — приведені витрати життєвого циклу. Альтернатива — ранжування за NPV/IRR.	«Вето» за неможливості підключення ключових комунікацій у бюджеті/терміні проєкту.
5) Екологія	Мінімізація негативного впливу на довкілля та підтримка «зелених» практик.	(а) Близькість до чутливих зон (житлова забудова, школи/лікарні) — шум/викиди; (б) Ризики локального забруднення (стоки, відходи); (в) Потенціал ВДЕ (сонячна генерація), енергоефективність будівлі; (г) Доступність ГТ/веломережі для клієнтів/персоналу.	Чим менші ризики і більший «зелений потенціал», тим вищий бал; за наявності спеціальних зон — штраф/вето.	Заборона розміщення у санітарно-захисних зонах; дотримання норм шуму/викидів.

Критерій	Сутність	Базові показники	Нормування	Пороги/вето
б) Інституційні вимоги	Відповідність локації законодавчим, регуляторним і процедурним умовам.	(а) Зонінг/цільове призначення землі; (б) Підключення до електромереж/інтернет у із заданою надійністю; (в) Метрологія та підтвердження компетентності (за потреби — у межах ДСТУ EN ISO/IEC 17025); (г) Інтеграція з державними реєстрами (API, захищені канали); (ґ) Безбар'єрність та ОП; (д) Термін отримання дозволів.	Бінарні вимоги — як «пройшов/не пройшов» (вето); інші — шкалюються (ступінь готовності 0–100).	Невідповідність критично важливим вимогам (зонінг, клас надійності електроживлення, обов'язкові ІТ-інтерфейси) блокує локацію.

Усі критерії оцінюються на однаковій шкалі (наприклад, 0–100 балів) через нормування первинних показників і з урахуванням напрямку «чим більше — тим краще/гірше». Для уникнення подвійного рахунку потрібна перевірка кореляцій між показниками та, за потреби, їх агрегація в підкритерії.

Після нормування формується вектор бальних оцінок $S = (S_D, S_R, S_A, S_E, S_{ECO}, S_I)$, де індекси відповідають: попит (Demand), ризик (Risk), доступність (Accessibility), економіка (Economy), екологія (Ecology), інституційні вимоги (Institutional). Базова агрегована оцінка [47]:

$$Score = \sum_k w_k S_k, \quad \sum_k w_k = 1 \quad (2.1)$$

де ваги w_k отримують із процедури еліцитації (наприклад, АНР/АНР) і надалі перевіряють аналізом чутливості. Для контролю «довгих хвостів» додається обмеження справедливості: медіанний час доступу \tilde{t} і 90-й перцентиль t_{90} не повинні перевищувати заданих порогів у кожній адміністративній зоні/кластері попиту; для периферій — гарантована мінімальна частка покриття. У постановках інтегрованої оптимізації частину критеріїв використовують як цілі (наприклад, мінімізувати \tilde{t} , максимізувати покриття), інші — як обмеження (вето та пороги).

Запропонована система критеріїв забезпечує збалансоване оцінювання кандидатних локацій: попит визначає «де потрібен сервіс», ризик — «де контроль найбільше зменшує небезпеку», доступність — «наскільки зручно та справедливо дістатися», економіка — «чи життєздатна інвестиція», екологія — «чи мінімізуємо вплив», інституційні вимоги — «чи можна законно й технічно запустити пункт». Така структура безпосередньо готова до інтеграції у процедури MCDM та моделі розміщення-призначення із обмеженнями та порогами, необхідними для дотримання регуляторних і соціальних пріоритетів.

2.3 Нормалізація критеріїв та їх вага

Формування інтегральної оцінки локацій пунктів контролю технічного стану потребує приведення різновимірних показників до спільної шкали та визначення ваг важливості критеріїв. Нормалізація забезпечує порівнюваність, а система ваг — відображення пріоритетів стейкхолдерів і «інформативності» даних.

Насамперед виконується нормалізація. Її мета – перетворити вихідні показники (час доїзду, частку покриття, витрати, індекси ризику, інтенсивність попиту тощо) у безрозмірні бали на єдиній шкалі, наприклад 0–100. Для показників типу «чим більше — тим краще» (покриття, попит, інформативність перевірок) використовується правило мін–макс: $S = 100 \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$. Для показників «чим менше — тим краще» (час, відстань, витрати) – $S = 100 \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}}$. Для часових метрик інколи доцільно застосовувати порогово-лінійну функцію з реалістичним цільовим значенням (наприклад, 30 хвилин доїзду), аби не створювати штучної «суперпереваги» центральних локацій; тоді $S = 100 \cdot \max \left\{ 0, 1 - \frac{x}{T^*} \right\}$. За наявності «довгих хвостів» або викидів показники стабілізують через перцентильне обрізання (5–95 %) чи монотонні перетворення (лог-нормування). Якщо критерій

складається з підгруп (наприклад, доступність для «легких» та «важких» транспортних засобів, далі — ТЗ), то спочатку нормують усередині підгруп, а далі агрегують у підкритерій із заданими частками.

Далі визначають ваги критеріїв. Базовим є суб'єктивний, експертний підхід. Формується репрезентативна група експертів (регулятор, оператори ПКТС, фахівці з транспортного планування, економіки, екології; орієнтовно 7–15 осіб). Застосовують або парні порівняння за шкалою Сааті (1–9), або рейтингові/розподільчі анкети (розподіл 100 балів між критеріями). Для підвищення якості суджень доцільна двоетапна процедура Delphi: перший раунд – індивідуальні оцінки, другий – перегляд після отримання агрегованих результатів і коментарів.

Метод АНР (аналітичний ієрархічний процес) передбачає представлення задачі у вигляді ієрархії «мета → критерії → (за потреби) підкритерії». Для кожного рівня будується матриця парних порівнянь, на основі якої обчислюється власний вектор пріоритетів та виконується нормування ваг до суми 1. Обов'язковою є перевірка узгодженості суджень. Індекси обчислюються за стандартними формулами: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)}$, $CR = \frac{CI}{RI}$ де RI – індекс випадкової узгодженості для розмірності n . Вважається прийнятним $CR \leq 0,10$ (особливо для 3–7 критеріїв); при перевищенні межі проводять повторну валідацію суджень або додатковий раунд Delphi. Для групових рішень застосовують два підходи: АІІ (агрегація індивідуальних суджень на рівні елементів матриць через геометричне середнє, після чого обчислення ваг) або АІР (усереднення індивідуальних векторів ваг із можливим зважуванням експертів за досвідом).

Якщо між критеріями існують взаємозалежності (наприклад, «економіка» обмежує «доступність» через бюджет; «інституційні вимоги» впливають на «екологію» та «безпеку»), доцільно застосовувати метод АНР (аналітичний мережевий процес). У ньому структура моделюється як мережа кластерів, де парні порівняння задають впливи між елементами. На їхній

основі формується надматриця, нормована до суперматриці, яка підноситься до високого степеня до наближення стаціонарного вектора глобальних ваг. Узгодженість локальних матриць у ANP перевіряється так само, як в AHP.

Альтернативою або доповненням до експертних ваг є об'єктивні, дано-керовані ентропійні ваги. Ідея полягає в тому, що критерій, який краще «розрізняє» альтернативи (має вищу варіативність нормованих балів), отримує більшу вагу. Процедура така: спочатку формують матрицю нормованих балів S_{ij} , далі для кожного критерію обчислюють частки $p_{\{ij\}} = \frac{S_{ij}}{\sum_i S_{ij}}$, ентропію $E_j = -k \sum_i p_{ij} \ln p_{ij}$, де $k = \frac{1}{\ln n}$ (кількість альтернатив n), ступінь різноманітності $D_j = 1 - E_j$ та вагу $w_j^{\{(ent)\}} = \frac{D_j}{\sum_k D_k}$. Таким чином вага зростає, коли інформаційна «контрастність» критерію в даних є вищою.

Для поєднання суб'єктивних і об'єктивних підходів застосовується інтеграція ваг. Найпростіша схема — опукла комбінація: $w_j = w_j^{\left(\frac{AHP}{ANP}\right)} + (1 - \alpha)w_j^{(ent)}$, де $\alpha \in [0;1]$ регулює баланс між експертною думкою і сигналом даних (наприклад, $\alpha=0,6$ означає пріоритет експертних пріоритетів із помірною корекцією даними). Інша корисна схема — мультиплікативне поєднання з наступним нормуванням: $w_j \propto w_j^{\left(\frac{AHP}{ANP}\right)} \cdot w_j^{(ent)}$; вона підсилює критерії, щодо яких збігаються і експерти, і емпіричні відмінності. Для демонстрації прозорості доцільно розглядати кілька сценаріїв ($\alpha=0$, $\alpha=0,5$, $\alpha=1$) та порівнювати стабільність ранжування локацій.

Після визначення ваг обов'язковою є перевірка стійкості рішень. Проводиться чутливісний аналіз: варіювання ваг у межах $\pm 10-20\%$ і спостереження за змінами топ-рангу альтернатив. Перевіряється робастність до вибору формули нормалізації (мін–макс проти порогово-лінійної чи перцентильної); очікувано, «здорові» рішення не повинні радикально змінюватися. Здійснюється перехресна валідація: порівняння отриманих оцінок із реальними операційними метриками (черги, фактичні потоки

клієнтів, середній час поїздки), а також із результатами пілотного впровадження. За потреби переглядаються пороги і значення ваг, проте фіксація остаточного набору повинна супроводжуватися протоколом змін [48].

Представлений підхід забезпечує поєднання прозорості експертного судження (АНР/АНР із контролем узгодженості) та об'єктивності даних (ентропійні ваги). Нормалізація гарантує порівнюваність показників, система ваг відображає як стратегічні пріоритети замовника/регулятора, так і емпіричну інформативність критеріїв, а чутливісні тести підтверджують робастність рішень. Це створює надійний фундамент для подальшого багатокритеріального ранжування локацій і їх інтеграції з мережевими моделями розміщення-призначення.

2.4 Застосування GIS-інструментарію і просторових метрик

Для обґрунтованого вибору локацій пунктів контролю технічного стану застосовуються геоінформаційні системи (англ. GIS, *Geographic Information System* — програмні засоби для аналізу просторових даних) і набір простих, але змістовних просторових метрик. На вхід до GIS подаються узгоджені шари: дорожня мережа з типами доріг і припустимими швидкостями руху, межі адміністративних територій, точки або зони попиту (місця проживання та роботи власників транспортних засобів, локації великих автопарків і логістичних центрів), кандидатні майданчики для ПКТС, а також обмеження (санітарно-захисні зони, природоохоронні території, містобудівні регламенти). Усі дані попередньо перевіряються на помилки, дублікати та узгоджуються в єдиній системі координат [49].

Ключовим інструментом є побудова ізохрон — контурів на карті, що показують, яку територію можна досягти від заданої точки за визначений час (наприклад, 15, 30 чи 45 хвилин) із урахуванням дорожньої мережі та, за можливості, умов руху в години пік. Для кожної кандидатної локації ПКТС формуються ізохрони декількох рівнів часу, після чого в межах кожної

ізохрони підраховується населення, кількість ТЗ та очікувана кількість оглядів. Так отримується наочна відповідь на практичне запитання: скільки потенційних клієнтів реально дістануться до пункту за прийнятний час.

Другим базовим блоком є матриці часу та відстані – таблиці «від-до», у яких для кожної пари «осередок попиту — локація ПКТС» обчислюється мінімальний час поїздки або довжина маршруту. Ці матриці дозволяють обрахувати середній та медіанний час доїзду, 90-й перцентиль (щоб контролювати «довгі хвости»), а також слугують вихідними даними для мережових моделей розміщення-призначення. За великих обсягів даних розрахунок обмежується найближчими варіантами (наприклад, трьома локаціями з найменшим часом), що зменшує витрати обчислень без втрати якості рішень. Для важких ТЗ (вантажні автомобілі та автобуси) до розрахунків додаються практичні обмеження – нижчі швидкості в міській мережі, заборони на проїзд певними вулицями, вагові обмеження на мостах [49].

Радіуси покриття використовуються як проста і зрозуміла метрика доступності. Замість фіксованої відстані у кілометрах ми, як правило, оперуємо часовими «радіусами» — наприклад, 30 хвилин доїзду, оскільки для користувача важливіше, скільки часу він витратить на дорогу. Для кожної локації визначається частка населення та парку ТЗ, що потрапляє в межі цього порогу. На рівні всієї мережі підсумовується загальне покриття та перевіряється відсутність «білих плям», тобто територій, де час доїзду перевищує прийнятний поріг. Якщо виявляється надмірне перекриття зон покриття між близькими локаціями, одна з них може бути зміщена в зону дефіциту, що підвищує ефективність мережі.

Щоб краще зрозуміти просторову структуру попиту, застосовується кластеризація — методи групування точок попиту у природні «вузли». У найпростішому вигляді територія ділиться на регулярну сітку (шестикутники або квадрати), в межах якої агрегуються показники попиту; це створює читабельну «теплову карту». Додатково використовуються автоматичні алгоритми на кшталт *k-means* (виділяє задану кількість кластерів та їхні

центри) або DBSCAN (знаходить щільні «хмари» точок і відділяє шум), що допомагає виявити вузли попиту біля логістичних парків, терміналів або великих автопарків. Отримані кластери порівнюються з ізохронами та радіусами покриття, що дає змогу перевірити, чи накриває мережа ключові «гарячі точки».

Результати просторового аналізу подаються у вигляді лаконічних індикаторів, придатних для подальшої багатокритеріальної оцінки: середній та медіанний час доїзду, 90-й перцентиль часу, частка населення та парку ТЗ у межах 15/30/45 хвилин, показники балансу завантаження (чи відповідає очікуваний потік пропускну здатності лінії) та характеристика «білих плям». Ці індикатори легко інтерпретуються, піддаються порівнянню між альтернативами та безпосередньо інтегруються в систему вагових оцінок.

Якість GIS-аналізу забезпечується прозорим ланцюжком обробки даних і повторюваністю обчислень. Усі проміжні шари — ізохрони, матриці часу/відстані, сітки та кластери — зберігаються для аудиту та оновлення. За наявності доступу до емпіричних спостережень (навігаційні логи, опитування клієнтів) швидкісні профілі та оцінки часу доїзду калібруються, а результати перераховуються. Регулярне оновлення картографічних та трафікових даних дозволяє оперативно відображати зміни в дорожній мережі й підтримувати точність показників. Такий підхід дає цілісну, доказову картину доступності та попиту, забезпечує виявлення прогалин сервісу і підготовлює підґрунтя для наступного етапу — поєднання просторових метрик із багатокритеріальною оцінкою та оптимізаційними моделями розміщення-призначення.

2.5 Модель потоків і черг

Для планування роботи пунктів контролю технічного стану потрібна проста, прозора модель потоків і черг, яка дозволяє оцінити пропускну здатність ліній випробувань, очікуваний час очікування клієнтів і вплив сезонних піків на рівень сервісу. У спрощенні розглядається надходження

клієнтів як випадковий потік із середньою інтенсивністю λ (кількість прибуттів за годину) та середній час обслуговування $\frac{1}{\mu}$ (год/клієнт) на одну лінію. Якщо в пункті є s паралельних ліній, то максимальна технічна пропускна здатність дорівнює $s\mu$. Для початкових оцінок припускаються випадкові інтервали прибуття (наближено потік Пуассона) і відносно сталий час процесу перевірки (експоненційна або близька до неї тривалість) [50].

Ключовий показник завантаження – коефіцієнт завантаження $\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$.

Якщо $\rho \geq 1$, попит перевищує можливості — черга зростає, а час очікування стає некерованим. Практично для стійкої роботи ПКТС цільовим вважається діапазон $\rho \approx 0,70-0,85$: це забезпечує прийнятні черги та резерв для коливань попиту і простоїв (переналаштування стенду, метрологія, перерви персоналу). З урахуванням простоїв та регламентів доцільно використовувати ефективну пропускну здатність $s\mu(1 - \delta)$, де δ – частка часу, коли лінія недоступна (калібрування, техобслуговування, збої).

Очікуваний час очікування в черзі і довжина черги можна оцінити базовими формулами теорії черг. Для одного поста (модель типу М/М/1) середній час у черзі наближено [50]:

$$W_q \approx \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}, W = W_q + \frac{1}{\mu},$$

де W – повний середній час у системі (очікування + перевірка). Для кількох паралельних постів (М/М/с) використовують показник ймовірності очікування P_{wait} (формула Ерланга С), після чого

$$W_q \approx \frac{P_{wait}}{s\mu - \lambda}, W = W_q + \frac{1}{\mu},$$

Хоч ці формули ідеалізують реальність, вони добре працюють для «першого наближення» і дозволяють швидко побачити, як зміниться очікування при додаванні ще однієї лінії чи зміні тривалості процедури. За

законом Літтла ($L = \lambda W$) легко отримати середню кількість клієнтів у системі L та в черзі $Lq = \lambda W_q$ [550].

Сезонність істотно впливає на показники. У періоди масового проходження перевірок (оновлення документів, передсезонні хвилі) вхідна інтенсивність $\lambda(t)$ зростає, і навіть при незмінній μ різко збільшується ρ , що тягне за собою нелінійне збільшення W_q . Для керування сезонністю застосовуються три прості важелі: (1) зміна режиму роботи (друга зміна, подовжений день, тимчасове відкриття мобільної лінії), що підвищує c або ефективно $c\mu$; (2) керування попитом через попередній запис на час (розподіл прибуттів, зменшення піків λ); (3) скорочення тривалості операцій (стандартизація прийому, попередня перевірка документів, автоматизоване фотовідео, інтегрований обмін даними), що збільшує μ . У багатьох випадках короткі вузькі місця – це не самі випробування, а супровідні дії (ідентифікація, введення даних, очікування на підйомник); їхня оптимізація часто дає більший ефект, ніж додавання постів.

Для опису очікуваного рівня сервісу вводиться показник «відсоток клієнтів, які розпочали перевірку за не більш як T хвилин» – наприклад, SL_{30} для $T = 30$ хв. Його можна оцінити через розподіл часу очікування з моделі М/М/с: чим менше ρ і P_{wait} , тим вищий SL_{30} . На практиці зручно встановлювати ціль, наприклад $SL_{30} \geq 85\%$ у звичайні періоди і $SL_{45} \geq 80\%$ у піки, та перевіряти її досягнення сценарними розрахунками (база, +1 лінія, +друга зміна, +попередній запис).

У мережевому контексті важливо уникати «перекосу» завантаження: якщо два сусідні ПКТС мають близькі ізохрони, але різний режим роботи, клієнти природно переорієнтовуються на більш «швидкий» пункт, створюючи там чергу. Рішеннями є єдина система запису, динамічне інформування про очікування в реальному часі та перерозподіл потоків (наприклад, пропозиція зниженої ціни в «порожні» вікна або спрямування певних категорій ТЗ у менш завантажені пункти). Для важких ТЗ (вантажні автомобілі, автобуси)

рекомендується окрема лінія або окремі часові вікна: їхній довший цикл підвищує варіабельність обслуговування і погіршує W_q для всіх, якщо змішувати потоки без правил.

З практичних міркувань у плануванні використовуються такі орієнтири: (а) проектувати на пікове навантаження з коефіцієнтом запасу (наприклад, не перевищувати $\rho_{\text{пik}} \approx 0,85$); (б) закладати 5–10 % часу на регламентні простої в оцінці μ (калібрування, дрібні збої); (в) забезпечити буферні вікна без запису для поглинання випадкових сплесків і повторних оглядів; (г) вимірювати фактичні часи етапів (ідентифікація, випробування, оформлення), щоб підкріплювати модель реальними даними та коригувати вузькі місця.

Описана спрощена модель черг не претендує на повну детальність, проте вона дає швидкі, інтерпретовані оцінки пропускну здатності, часу очікування та рівня сервісу, показує, як сезонність і зміни в організації роботи впливають на результати, і прямо підказує управлінські рішення: коли додати лінію, коли продовжити зміну, коли вводити запис, а коли — розділяти потоки за категоріями ТЗ. У наступних розділах ці оцінки інтегруються з іншими критеріями, щоб сформувати збалансовані мережеві сценарії роботи ПКТС [50].

Висновки до розділу

Сформовано цілісну методику оцінювання та планування мережі пунктів контролю технічного стану, яка поєднує класифікацію пунктів, систему критеріїв, правила нормалізації й зважування, просторовий аналіз у GIS та спрощену модель потоків і черг для перевірки пропускну здатності й рівня сервісу.

Запропонована багатоосьова класифікація ПКТС створює «паспорт» типів пунктів. Вона забезпечує узгодженість між стратегічними цілями мережі й параметрами, що входять у моделі розміщення-призначення та оперативне планування.

Система критеріїв для вибору локацій охоплює шість ключових вимірів: транспортний попит, безпеку/ризик, доступність, економіку, екологію та інституційні вимоги. Для кожного визначено сутність, вимірювані показники, правила нормалізації та пороги, що унеможливають компенсування критичних провалів.

Описано прозорий механізм формування ваг: суб'єктивні (експертні) ваги з використанням АНР/АНР із перевіркою узгодженості ($CR \leq 0,10$) та об'єктивні (ентропійні) ваги, що відображають інформативність даних. Запропоновані схеми комбінування (опукла та мультиплікативна) і сценарний підхід забезпечують робастність і відтворюваність рішень, тоді як чутливісний аналіз дозволяє виявляти «зони невизначеності» за зміни ваг і порогів.

GIS-інструменти перетворюють просторові дані на прикладні індикатори: медіанний і 90-й перцентиль часу доїзду, частки покриття, гравітаційні показники та «білі плями». Ці індикатори безпосередньо підживлюють критерії доступності й справедливості та слугують вхідними даними для мережевих моделей.

Наведена спрощена модель потоків і черг дає перше наближення до перевірки пропускнуої здатності, часу очікування та рівня сервісу, відображає вплив сезонних піків і підказує управлінські важелі: додаткові зміни/лінії, попередній запис, скорочення нетехнологічних затримок. Запропоновано орієнтири проектування (цільовий діапазон завантаження $\rho \approx 0,70-0,85$, резерв на регламентні простоти 5–10 %, буферні вікна).

Сукупно ці елементи утворюють узгоджений «конвеєр» побудови карти придатності локацій і підготовки даних для багатокритеріальної оптимізації мережі. Методика забезпечує: узгодження з нормативними та інституційними вимогами; кількісне врахування доступності та справедливості; економічну доцільність конфігурацій; операційну стійкість у пікові періоди.

З практичного погляду головним результатом розділу є формування стандартизованої матриці оцінювання локацій: чітко визначені показники, правила їх нормалізації, процедури перевірки, набір GIS-метрик і перевірка

системи «пропускна здатність \leftrightarrow час очікування». Це створює методичну основу для проектування мережі ПКТС, її валідації і поступового масштабування.

3 МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ ПУНКТІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

3.1 Обґрунтування вихідних даних

Для моделювання мережі пунктів контролю технічного стану транспортних засобів вибрано Волинську область, тому приймається набір вихідних даних, який узгоджено з методикою, наведеною у розділі 2 та придатний до інтеграції у просторове (GIS) та мережеве моделювання, а також у спрощену модель потоків і черг. Вихідні дані поділені на шість груп:

- просторово-демографічні та дорожні;
- дані про парк ТЗ і попит на ОТК;
- множина кандидатних локацій (локацій можливого розташування);
- технологічні параметри ПКТС (цикли, пропускна здатність);
- обмеження та нормативні вимоги;
- економічні параметри і сценарні припущення.

Нижче наведено прийняті рішення та значення, які слугують «базовим сценарієм» для області; усі параметри залишаються налаштованими під час калібрування.

Просторово-демографічні та дорожні дані. Територія моделювання – Волинська область у чинних адміністративних межах. Обчислювальна роздільність – шестикутна сітка із кроком 5 км (для міст Луцьк, Ковель, Володимир — додаткове ущільнення до 2 км у межах міських агломерацій). Для кожної комірки зберігається населення, оцінка кількості ТЗ (з розділенням на «легкі» та «важкі» категорії) та «якорні» точки попиту (автопарки, логістичні вузли) (див. рис. 3.1). На рисунку 3.2 наведена шестикутна сітка із кроком 10 км (для міст Луцьк, Ковель, Володимир — додаткове ущільнення до 5 км у межах міських агломерацій). Дорожня мережа представлена графом із типізацією доріг і шаблонами швидкостей за типом (місто/позаміська/магістраль) і профілем доби; для годин пік будуть використані понижувальні коефіцієнти швидкості. Базові метрики доступності

– ізохрони 15/30/45/60 хв (рис. 3.3) та матриці часу/відстані «осередок попиту → локація ПКТС».

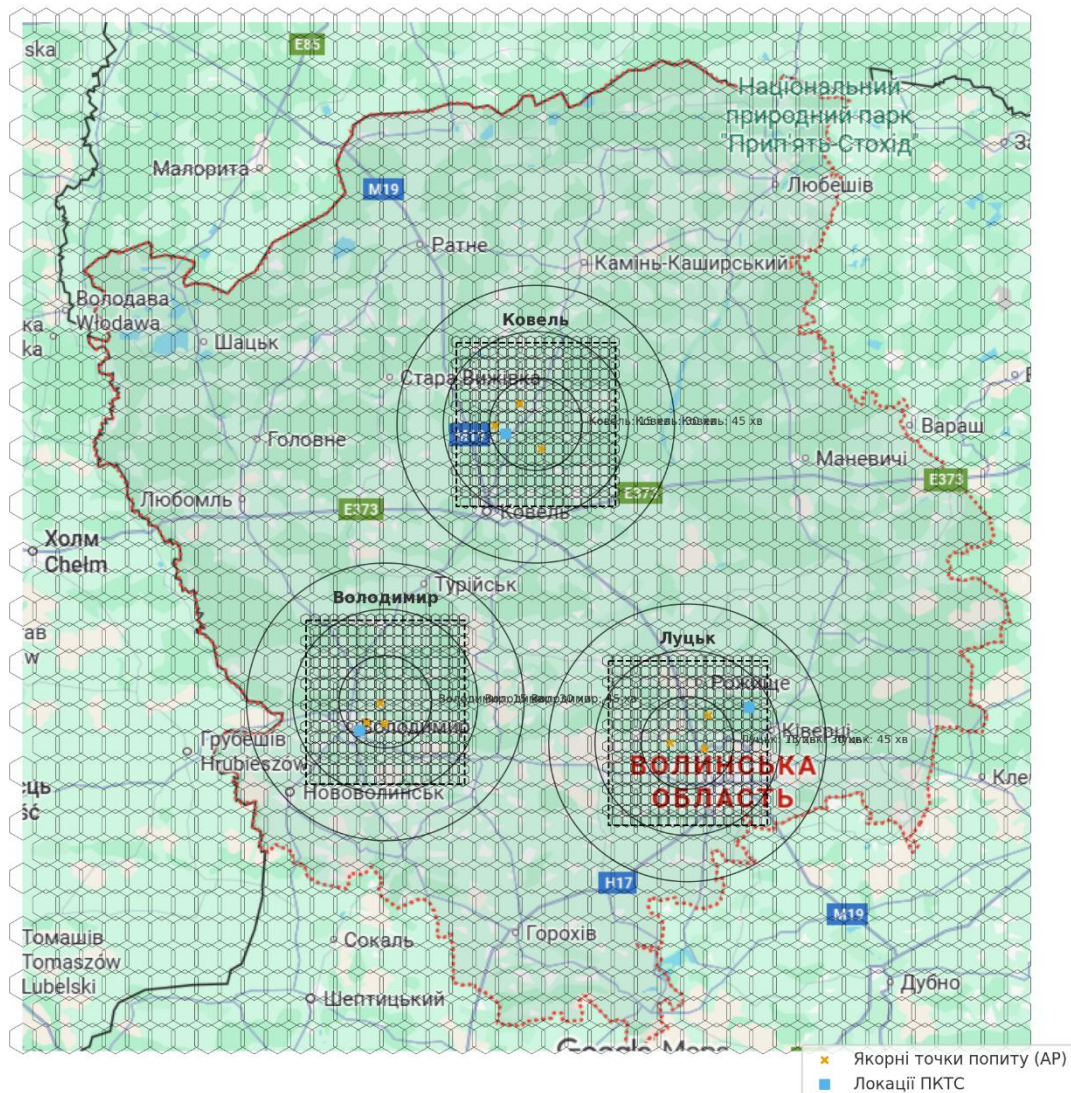


Рисунок 3.1 – Схема даних для моделювання мережі ПКТС: шестикутна сітка із кроком 5 км (для міст Луцьк, Ковель, Володимир – додаткове ущільнення до 2 км у межах міських агломерацій).

Парк ТЗ і попит на ОТК. Для потреб моделі введено категорії: L/M1/N1 — «легкі», M2–M3/N2–N3/O3–O4 — «важкі», а також окремі підкатегорії «таксі/автобуси/ADR» для уточнення ваг ризику. Попит на обслуговування оцінюється у вигляді очікуваних оглядів на рік за категоріями, із урахуванням інтенсивності використання та сезонності. Прийнято параметричні значення

частоти оглядів (у перерахунку на «оглядів/авто·рік»): легкі приватні — 0,5; таксі — 1,0; легкі комерційні N1 — 1,0; важкі вантажні N2–N3 — 1,0; автобуси M2–M3 — 2,0; причепа O3–O4 — 1,0. Для розподілу парку по сітці приймається пропорційний до населення підхід із корекцією на наявність великих автопарків і промислово-логістичних зон (у таких осередках попит підсилюється коефіцієнтом 1,2–1,5). Сезонність описується індексом S_m (множник до середньомісячної інтенсивності), з піковими значеннями в 1,3–1,5 у періоди масових перевірок.

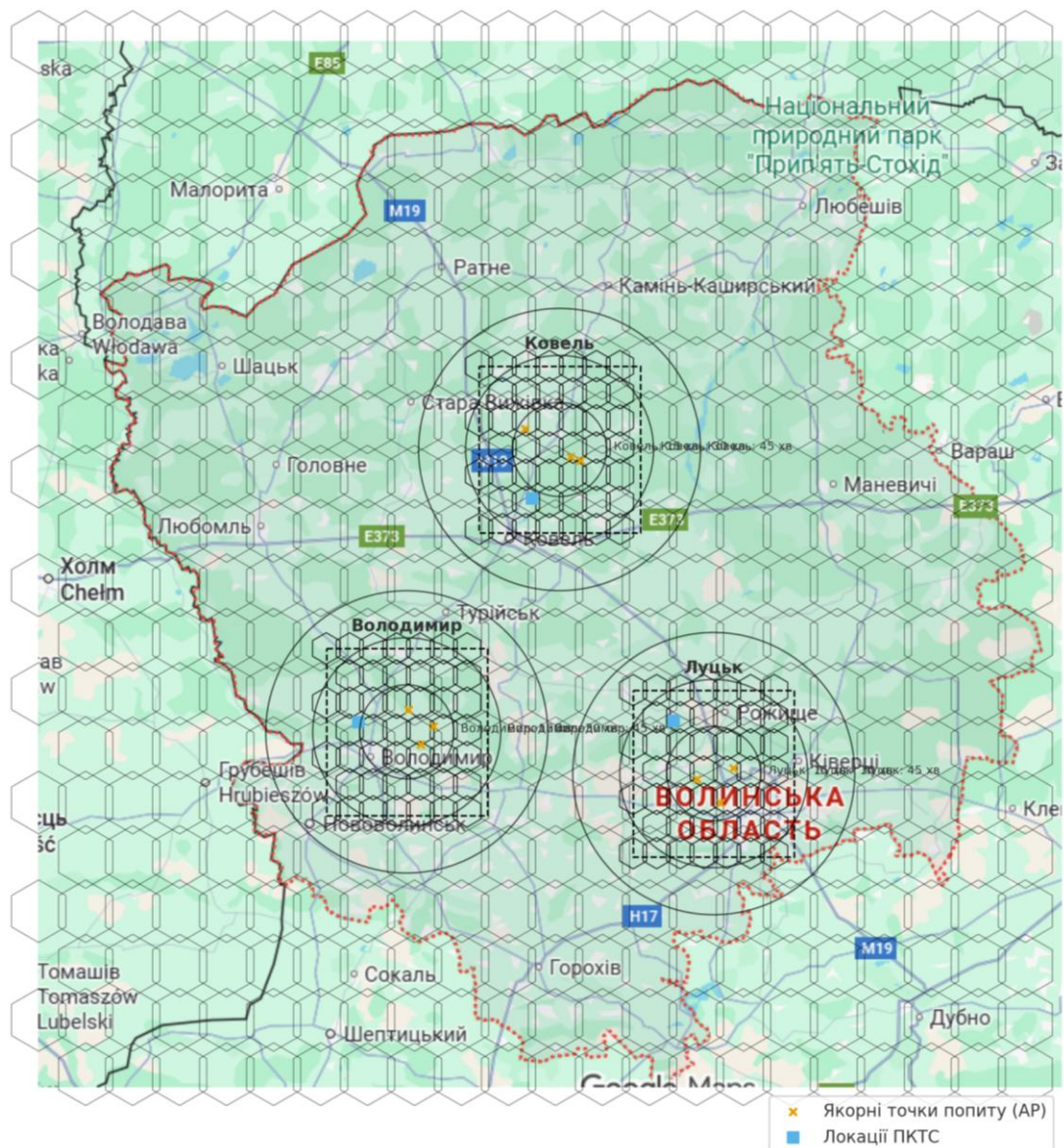


Рисунок 3.2 – Схема даних для моделювання мережі ПКТС: шестикутна сітка із кроком 10 км (для міст Луцьк, Ковель, Володимир – додаткове ущільнення до 5 км у межах міських агломерацій).

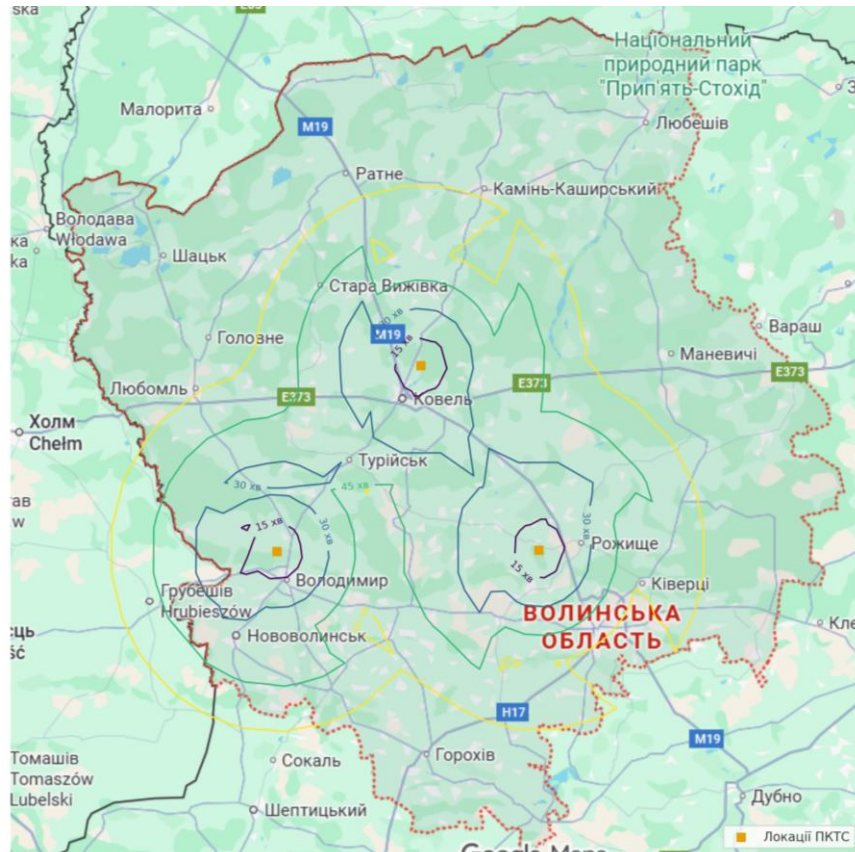


Рисунок 3.3 – Мінімальний час до найближчого ПКТС: ізохорни доступності 15/30/45/60 хв

Кандидатні локації. Множина кандидатів формується з: усіх міських населених пунктів (міста обласного/районного значення); транспортних вузлів і логістичних парків; прикордонних під'їздів (для важких ТЗ); діючих СТО з територіальним і інженерним потенціалом для виділеної лінії контролю. Для старту приймається $N_{cand} \approx 50$ точок по області. Для бюджетно-обмеженого сценарію плану відбору – вибір $K = 12 \dots 15$ локацій (стаціонарних), плюс до 2–3 мобільних модулів для покриття віддалених громад і компенсації сезонних піків. Для кожного кандидата зберігаються атрибути: доступ до електроживлення/зв'язку, площа ділянки, містобудівний статус, наявність під'їздів для автопоїздів/автобусів, відстань до житлової забудови.

Технологічні параметри ПКТС. Середній цикл перевірки (з урахуванням ідентифікації та оформлення) для легких ТЗ приймається 30 хв, для важких –

50 хв. Ефективна продуктивність однієї лінії: $\mu_{light} \approx 2,0$ од./год, $\mu_{heavy} \approx 1,2$ од./год. Плановий режим – 1 зміна 8 год для базових пунктів; у містах та вузлах попиту – 2 зміни (16 год) у пікові періоди. Закладаються також неминучі простої (калібрування, дрібні збої, перерви) $\delta = 0,08$ від часу зміни. Для черг приймається спрощена постановка М/М/с: коефіцієнт завантаження $\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$ утримується в робочому коридорі 0,70–0,85; цільові рівні сервісу – не менше 85 % клієнтів розпочинають перевірку за ≤ 30 хв у міжсезоння та ≥ 80 % за ≤ 45 хв у піки. Для важких ТЗ у змішаних потоках виділяються окремі вікна або лінії.

Обмеження й нормативні вимоги. У моделі реалізуються «жорсткі» обмеження (вето), описані в розділі 2: відповідність цільовому призначенню землі; наявність електроживлення та каналу зв'язку з надійністю, достатньою для фотовідеофіксації та електронних протоколів; дотримання санітарно-захисних відстаней; можливість забезпечення метрології та підтвердження компетентності вимірювань для визначених процедур; інтеграція з державними реєстрами (API). Просторові пороги доступності встановлюються як критерії: ≥ 90 % легкого парку в межах 30 хв і ≥ 95 % у межах 45 хв; для периферії допускається до 45 хв як «базовий доступ» за умови наявності мобільного модуля не рідше 1–2 разів на місяць.

Вибрані вихідні дані забезпечують баланс між реалістичністю та керованістю моделі: наявна достатня деталізація простору (hex-сітка та мережеві часи), параметризований попит за категоріями ТЗ із сезонністю, реалістичні технологічні цикли та рівні сервісу, набір «жорстких» регуляторних обмежень для відбору конфігурацій у бюджетному коридорі. Такий набір дозволяє виконати подальшу оптимізацію розміщення, перевірити пропускну здатність і стабільність рішень у пікових сценаріях та підготувати рекомендації щодо поетапного розгортання мережі ПКТС у Волинській області.

3.2 Моделювання мережі пунктів контролю технічного стану автомобілів в межах міської агломерації Луцька

Агломерація Луцька моделюється на основі шестикутної сітки: базовий крок 10 км для області та ущільнення 5 км у межах міських агломерацій; для кожного осередку ведуться атрибути населення, парку ТЗ (поділ «легкі» L/M1/N1 і «важкі» M2–M3/N2–N3/O3–O4) та «якорні» точки попиту (автопарки, логвузли). Дорожня мережа задається графом із шаблонами швидкостей за типами доріг і профілями доби; базові метрики доступності – ізохрони 15/30/45/60 хв і матриці «осередок попиту → локація ПКТС».

Розрахунок річного попиту на ОТК. Для кожного осередку i та категорії c (легкі/важкі, а також підгрупи таксі/автобуси/ADR) річна потреба в оглядах оцінюється як

$$D_i = \sum_c N_{i,c} \cdot f_c \cdot s_m$$

де $N_{i,c}$ — кількість ТЗ категорії c в осередку (населення-пропорційний розподіл із підсиленням 1,2–1,5 для зон із великими автопарками/логвузлами);

f_c — частота оглядів у перерахунку «оглядів/авто·рік» (базові значення: легкі приватні – 0,5; таксі – 1,0; N1 – 1,0; важкі N2–N3 – 1,0; автобуси M2–M3 – 2,0; причепа O3–O4 – 1,0);

s_m — сезонний індекс місяця (піки 1.3–1.5), приймається 1,4 (2...3 місяці на рік).

Нижче наведено ймовірний розмір автопарку Луцької агломерації:

- легкі приватні авто 85 000 од;
- таксі 2 000 од;
- фургони/LCV (N1) 6 000 од;
- важкі вантажні (N2–N3) 2 000 од;
- автобуси (M2–M3) 700 од;
- причепа/напівпричепа (O3–O4) 1 000од.

За результатами розрахунків, для кожної категорії отримано кількість оглядів в рік, що наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Річний попит на ОТК

Категорія	Кількість оглядів на рік	Сегмент
Приватні М1	42500	Легкі
Таксі М1	2000	Легкі
N1	6000	Легкі
N2–N3	2000	Важкі
M2–M3	1400	Важкі
O3–O4	1000	Важкі
Всього	54900	–

Пропускна здатність ліній ПКТС. Для вибору технологічній ліній використовується класифікація продуктивності: мала (≤ 20 оглядів/добу/лінію), середня (20–50), висока (> 50); у піки можливі подовжені зміни або додаткові лінії. Основний (якірний) центр може працювати у багатолінійному форматі.

Добова спроможність вузла з L_ℓ «легкими» та L_h «важкими» лініями за базової зміни:

$$Q_{\text{доб}} = q_\ell \cdot L_\ell + q_h \cdot L_h, \quad q_\ell \in [20; 50]; q_h \in [20; 50]$$

Річна спроможність за d робочих днів і коефіцієнта використання часу ρ (перерви/повторні огляди):

$$Q_{\text{рік}} = Q_{\text{доб}} \cdot d \cdot \rho$$

У пікові місяці застосовується двозмінний режим роботи або тимчасове розширення потужності (мобільна точка), що передбачається сценаріями.

При $L_\ell = 40$ автомобілів та $L_h = 25$ автомобілів, $d = 250$ днів, $\rho = 0,9$, отримано середні продуктивності, які становлять для легкого сегменту 9000 оглядів на рік, важкого сегменту – 5625 оглядів на рік.

Тоді потрібна кількість ліній становитиме:

$$L_{\ell} \geq \frac{\sum_i D_{i,\text{легкі}}}{Q_{\text{рік}}} = \frac{50500}{9000} \approx 6 \text{ ліній}$$

$$L_h \geq \frac{\sum_i D_{i,\text{важкі}}}{Q_{\text{рік}}} = \frac{4400}{5625} \approx 1 \text{ лінія}$$

Середньомісячна продуктивність легкого сегмента становитиме $Q_{\text{міс}} = \frac{50500}{12} = 4208$ оглядів на місяць при $L_{\ell} = 40$ огл./добу, з врахуванням пікових навантажень, при $s_m = 1,4$, $Q_{\text{міс}} = 5892$ огл./міс, в добовому вираженні $Q_{\text{доб}} = 268$ огл./добу, $L_{\ell} = 44$ огл./добу. Таким чином для легкого сегмента необхідно передбачати одну додаткову лінію або другу зміну в пікові періоди (місяці).

Для важкого сегмента: $Q_{\text{міс}} = \frac{4400}{12} = 367$ оглядів на місяць при $L_h = 25$ огл./добу, з врахуванням пікових навантажень, при $s_m = 1,4$, $Q_{\text{міс}} = 514$ огл./міс, тоді $L_h = 23$ огл./добу, що покриває пікові навантаження.

Розміщення локацій (доступність і покриття). Мета доступності забезпечити не менше 90 % попиту агломерації у межах 30 хв до найближчого ПКТС (рис. 3.4). Щоб витримати ціль доступності та розвантажити центр у пікові місяці, пропонується розмістити:

- міський центр (якірний), який складатиметься з 4 «легких» та 1 «важкої» ліній;
- 2 периферійні вузли на в'їздах (Північ/Схід та Південь/Захід): по 1 «легкій» лінії в кожному.

Сумарно буде вибудовано мережу з 6 «легких» та 1 «важкої» ліній, із можливістю розгортання 7-ї тимчасової «легкої» (мобільної) в пікові місяці або включення другої зміни в міському центрі.



Рисунок 3.4 – Візуалізація мережі ПКТС для агломерації Луцька

Ця конфігурація:

- забезпечує річний попит із запасом,
- покращує 30-хв покриття всередині кільця ізохрон,
- гнучко обробляє пікові навантаження без постійного збільшення

навантаження.

Якщо розглядати сценарій росту автопарку на +20 %, то сумарний річний попит зростає до приблизно 60,6 тис. оглядів для «легкого» сегмента та 5,28 тис. для «важкого». Це змінює вимоги до пропускної здатності так:

- для «легких» ТЗ річний обсяг у 60,6 тис. оглядів вимагає щонайменше 7 «легких» ліній у базовому режимі ($7 \times 9\,000 \approx 63\,000$ /рік). Однак з урахуванням пікових місяців середньодобовий попит зростає до ≈ 321 огляду/добу, тоді як 7 ліній забезпечують 280 оглядів/добу. Відповідно, для бездефіцитної роботи в пік слід або:

- розгорнути восьму тимчасову «легку» лінію, або
- подовжити робочий час/запровадити другу зміну на $\approx 15\%$ (за рахунок кадрового та операційного підсилення).
- Для «важких» ТЗ річний попит 5,28 тис. залишається в межах річної спроможності однієї «важкої» лінії (5 625/рік). У пікові місяці середньодобове навантаження піднімається до ≈ 28 оглядів/добу проти добової спроможності 25/добу. Достатньо збільшити тривалість роботи або застосувати другу зміну на $\approx 12\%$ у визначені пікові періоди; постійного введення другої «важкої» лінії не потрібно.

Таким чином, з урахуванням очікуваного зростання парку на $+20\%$ рекомендована до впровадження конфігурація мережі ПКТС у межах Луцької агломерації — 7 «легких» + 1 «важка» лінія як базовий мінімум, із заздалегідь регламентованим механізмом тимчасового посилення на пікові 2–3 місяці (восьма «легка» лінія або друга зміна) і помірним розширенням режиму роботи «важкої» лінії приблизно на дванадцять відсотків. Така схема забезпечує стійке покриття річного попиту, контроль черг у пікові періоди та зберігає ціль доступності ($\geq 90\%$ попиту в межах 30-хв ізохрони) за умови раціонального розміщення вузлів і гнучкого планування змін.

3.3 Моделювання мережі пунктів контролю технічного стану автомобілів в межах міської агломерацій Ковеля та Володимира

Аналогічним чином здійснено розрахунки для м. Ковель та м. Володимир, при цьому також розглянуто сценарій 20% збільшення попиту протягом 3 років. Результати моделювання наведено в таблиці 3.2 та на рисунках 3.5 – 3.8.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків мережі ПКТС автомобілів в межах міської агломерації Ковеля та Володимира

Показник	Ковель (база)	Ковель (+20%)	Володимир (база)	Володимир (+20%)
Авто легкі (приватні), шт	28000	33600	18000	21600
Таксі, шт	700	840	400	480
LCV N1, шт	2500	3000	1400	1680
Вантажні N2–N3, шт	1600	1920	900	1080
Автобуси M2–M3, шт	350	420	220	264
Причепи O3–O4, шт	1200	1440	800	960
Річний попит (легкі), од/рік	17200	20640	10800	12960
Річний попит (важкі), од/рік	3500	4200	2140	2568
Усього (рік), од/рік	20700	24840	12940	15528
Ліній (легкі, рік), шт	2	3	2	2
Ліній (важкі, рік), шт	1	1	1	1
Піковий попит/добу (легкі), од/добу	91.2	109.5	57.3	68.7
Піковий попит/добу (важкі), од/добу	18.6	22.3	11.3	13.6
Добова спроможність бази (легкі), од/добу	80	120	80	80
Добова спроможність бази (важкі), од/добу	25	25	25	25
Дод. зміна/години (легкі), %	14.0	0.0	0.0	0.0
Дод. зміна/години (важкі), %	0.0	0.0	0.0	0.0
Ліній для піку без змін (легкі), шт	3	3	2	2
Ліній для піку без змін (важкі), шт	1	1	1	1

Для міста Ковель, з огляду на структуру попиту та прийняті нормативи продуктивності ліній, доцільною є базова конфігурація мережі ПКТС у складі трьох «легких» та однієї «важкої» лінії. Така потужність забезпечує покриття річного навантаження з необхідним резервом, водночас у пікові періоди (2–3 місяці на рік) для «легкого» сегмента може виникати короткостроковий дефіцит.

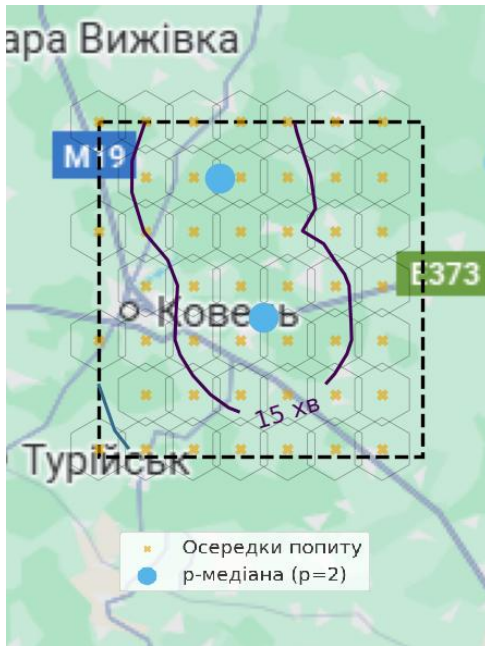


Рисунок 3.5 – Ізохрони доступності 15 хв до найближчого ПКТС (p-median, $p=2$), м. Ковель

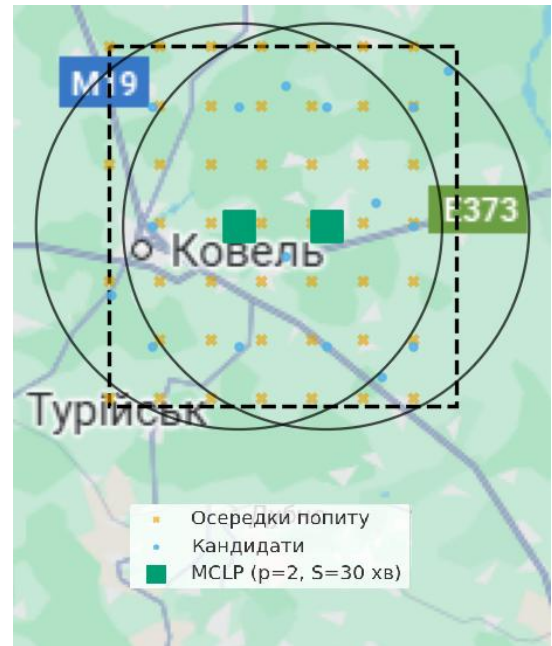


Рисунок 3.6 – Вибрані локації ПКТС за MCLP ($p=2$, 30 хв) та 30-хв зони покриття, м. Ковель

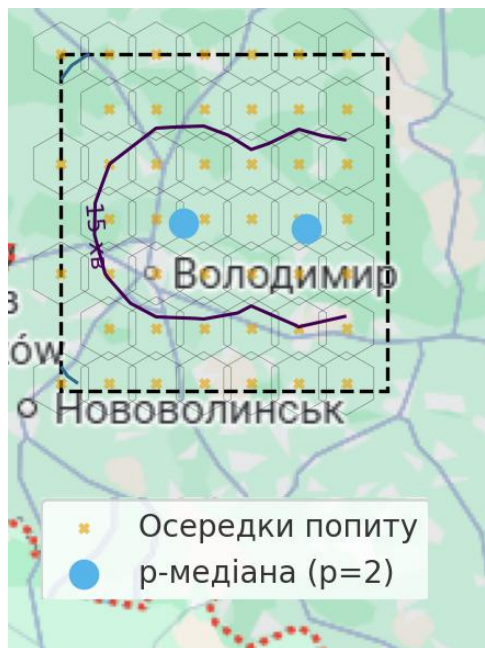


Рисунок 3.7 – Ізохрони доступності 15 хв до найближчого ПКТС (p-median, $p=2$), м. Володимир



Рисунок 3.8 – Вибрані локації ПКТС за MCLP ($p=2$, 30 хв) та 30-хв зони покриття, м. Володимир

Рекомендованим інструментом регулювання є підсилення приблизно на 10–15 % шляхом запровадження другої зміни або подовження робочого часу; альтернативою виступає розгортання четвертої «легкої» лінії як тимчасового рішення. Для «важкого» сегмента наявна одна лінія зазвичай є достатньою, а потреба додаткового ресурсу вирішується незначним коригуванням режиму роботи без капітального розширення.

Для міста Володимир раціональною базовою конфігурацією є дві «легкі» та одна «важка» лінія, що забезпечує виконання річних обсягів із дотриманням цільових показників доступності. У пікові місяці «легкому» сегменту, як правило, достатньо збільшення інтенсивності роботи до приблизно +10 % (друга зміна або подовження зміни); за потреби можливе короткострокове розгортання третьої «легкої» лінії як тимчасового заходу. Для «важкого» сегмента зазвичай достатньо короткого подовження зміни без введення додаткових постійних ліній. Такий підхід забезпечує баланс між операційною гнучкістю, інвестиційною ощадністю та підтриманням необхідного рівня сервісу протягом усього року.

3.4 Моделювання мережі пунктів контролю технічного стану автомобілів в межах Волинської області

За результатами кількісного моделювання потреби в пунктах контролю технічного стану для трьох опорних агломерацій — Луцька, Ковеля та Володимира, а також з врахуванням інших громад Волинської області за наведеною вище методикою здійснено розрахунки мережі ПКТС. Розрахунки виконано на основі прийнятих (ймовірних) обсягів автопарку з поділом на «легкі» та «важкі» категорії та з урахуванням впливу транзитного транспорту. Для кожного блоку визначено річний попит на огляди, необхідну кількість ліній (базовий режим) та поведінку системи у пікові періоди за індексом навантаження, з подальшою оцінкою потреби у додаткових змінах/годинах або тимчасових лініях. Результати наведено у таблиці 3.3 та на рисунках 3.9, 3.10.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків мережі ПКТС автомобілів в межах Волинської області

Показник	Луцьк	Ковель	Володимир	Інші громади	Волинська область
Авто легкі (приватні), шт	85000	28000	18000	90000	221000
Таксі, шт	2000	700	400	1500	4600
LCV N1, шт	6000	2500	1400	8000	17900
Вантажні N2–N3, шт	2000	1600	900	5000	9500
Автобуси M2–M3, шт	700	350	220	1200	2470
Причепи O3–O4, шт	1000	1200	800	4000	7000
Річний попит (легкі), од/рік	50500	17200	10800	54500	133000
Річний попит (важкі), од/рік	4400	3500	2140	11400	21440
Усього (рік), од/рік	54900	20700	12940	65900	154440
Ліній (легкі, рік), шт	6	2	2	7	15
Ліній (важкі, рік), шт	1	1	1	3	4
Піковий попит/добу (легкі), од/добу	267.8	91.2	57.3	289.0	705.3
Піковий попит/добу (важкі), од/добу	23.3	18.6	11.3	60.5	113.7
Добова спроможність бази (легкі), од/добу	240	80	80	280	600
Добова спроможність бази (важкі), од/добу	25	25	25	75	100
Дод. зміна/години (легкі), %	11.6	14.0	0.0	3.2	17.6
Дод. зміна/години (важкі), %	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7
Ліній для піку без змін (легкі), шт	7	3	2	8	18
Ліній для піку без змін (важкі), шт	1	1	1	3	5

На підставі прийнятих (ймовірних) обсягів автопарку з урахуванням транзитних потоків і типового регламенту періодичності техконтролю виконано зведений розрахунок потреби у пунктах контролю технічного стану (ПКТС) для Волинської області. Нормативну пропускну здатність прийнято на рівні $\approx 9\ 000$ оглядів/рік для «легкої» лінії (40 оглядів/добу, 250 робочих днів, коефіцієнт використання 0,9) та $\approx 5\ 625$ оглядів/рік для «важкої» лінії (25 оглядів/добу за тих самих умов). За підсумком агрегації попиту від трьох

опорних агломерацій (Луцьк, Ковель, Володимир) та «інших громад» області річний попит становить орієнтовно 133 тис. оглядів для «легких» категорій і 21,4 тис. оглядів для «важких». Виходячи з цих параметрів, мінімально необхідна інфраструктура для покриття річного навантаження дорівнює приблизно 15 «легким» та 4 «важким» лініям.

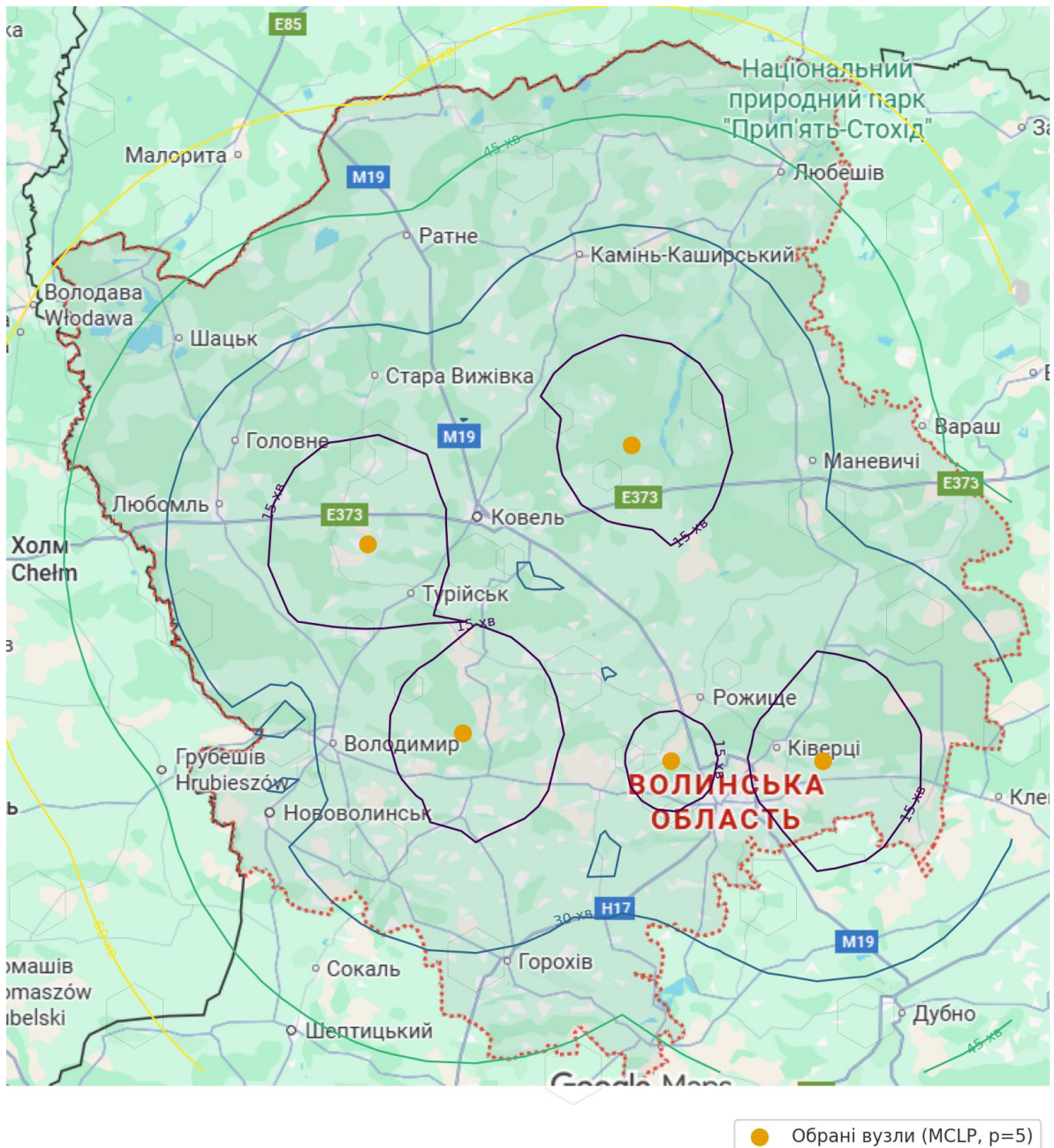


Рисунок 3.9 – Ізохрони доступності 15 хв до найближчого ПКТС (p=median, p=2), Волинська область

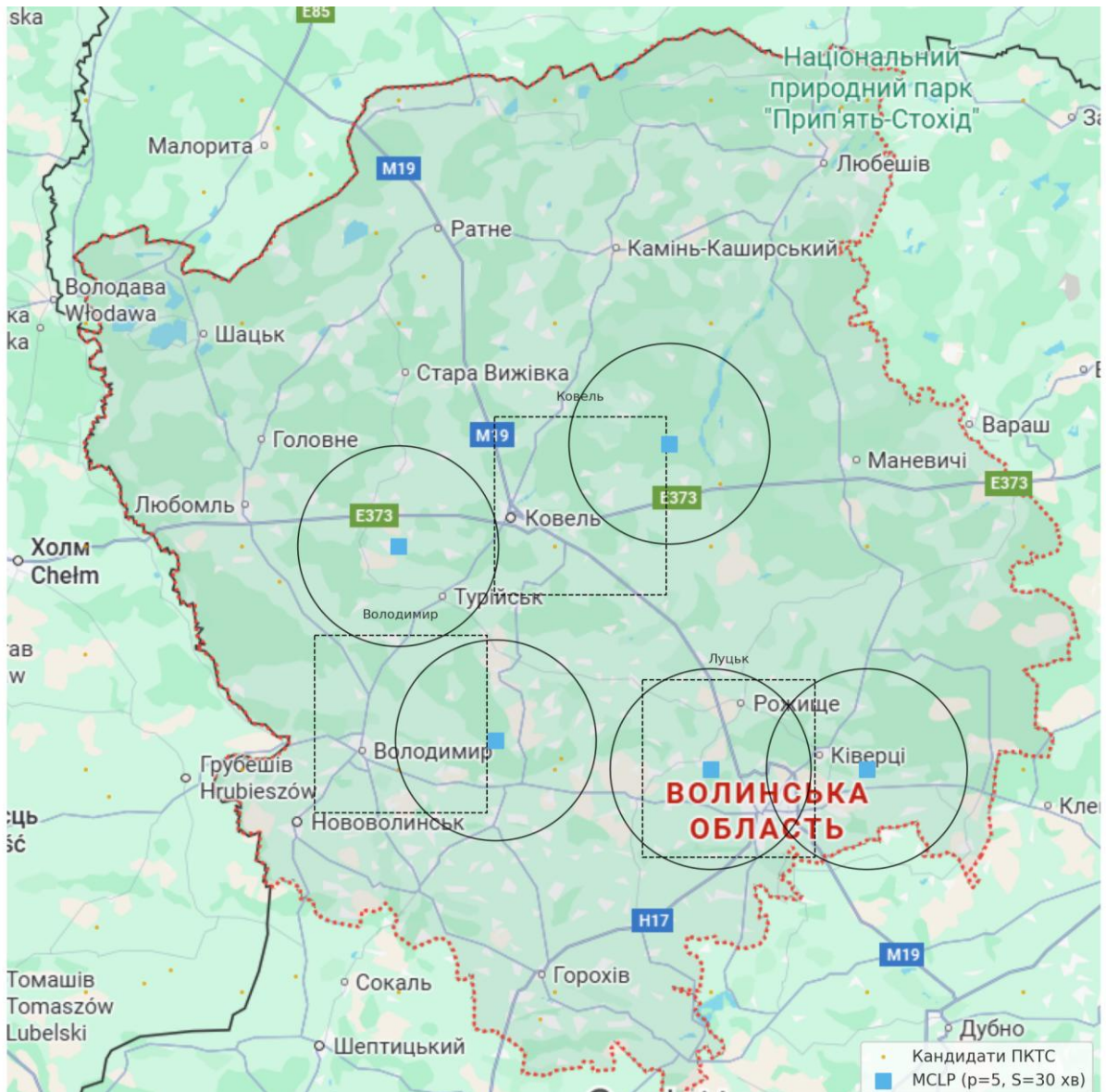


Рисунок 3.10 – Вибрані локації ПКТС за MCLP ($p=2$, 30 хв) та 30-хв зони покриття, Волинська область

Для просторового розміщення проведено оптимізацію за моделлю MCLP (поріг доступності 30 хв) на основі шестикутної сітки розрахунку (крок 10 км по області та 5 км у межах міських агломерацій) із вагами попиту, пропорційними населенню та транзитному впливу. Результат оптимізації вказує на доцільність формування п'яти вузлів ПКТС: трьох у межах опорних агломерацій і двох периферійних, необхідних для закриття «розріднених» територій. Рекомендований розподіл ліній такий: Луцьк — 4 «легкі» + 1 «важка»; Ковель — 3 «легкі» + 1 «важка»; Володимир — 2 «легкі» + 1 «важка»;

Периферійний вузол А (північ/центр області) — 3 «легкі»; Периферійний вузол В (південь/південний схід) — 3 «легкі» + 1 «важка». Сумарно це відповідає вимогам до пропускної здатності (15 «легких» і 4 «важкі» лінії) та забезпечує досягнення цільового рівня доступності в межах 30 хв, що підтверджується ізохронними картами 15/30/45/60 хв.

З огляду на сезонні коливання попиту (індекс пікового навантаження близько 1,4 протягом 2–3 місяців) для «легкого» сегмента доцільно передбачити механізми тимчасового підсилення потужностей у якорних вузлах (друга зміна/подовження часу роботи або короткочасне розгортання додаткової «легкої» лінії). Для «важких» категорій, як правило, достатньо короткого подовження зміни без постійного нарощування кількості «важких» ліній. Запропонована конфігурація поєднує відповідність річному попиту, досяжність 30-хв доступності та гнучкість керування піковими навантаженнями при помірних капітальних витратах, а конкретні координати двох периферійних вузлів можуть бути деталізовані на етапі передпроектного опрацювання з урахуванням земельних та інженерних обмежень.

На основі шестикутної сітки (10 км по області та 5 км в межах Луцька, Ковеля, Володимира) з вагами попиту, пропорційними населенню та транзитним впливам, сформовано матрицю «осередок → кандидат» і виконано оптимізацію MCLP з порогом 30 хв та $p = 5$ вузлів. Отримана конфігурація забезпечує цільове 30-хвилинне покриття більшої частини попиту, збалансувавши доступність між трьома опорними агломераціями й периферійними зонами області. Ізохронні карти 15/30/45/60 хв підтверджують суцільні зони доступності навколо обраних вузлів і виявляють невеликі «периферійні язички», де доцільно застосовувати мобільні/сезонні рішення або продовжені зміни. Зведена таблиця покриття подає частку попиту в межах кожного порогу (15/30/45/60 хв) для прийнятої конфігурації.

Висновки до розділу

Виконано повний цикл просторово-мережевого моделювання мережі ПКТС для Волинської області: побудовано шестикутну сітку попиту (10 км по області та 5 км в агломераціях Луцька, Ковеля, Володимира), розраховано ізохрони доступності 15/30/45/60 хв.

Для вибору локацій застосовано дві взаємодоповнювальні постановки: p-median (мінімізація середнього часу доїзду) та MCLP (максимальне покриття за порогом 30 хв). Це відповідає методичним засадам проектування сервісних мереж (покриття, доступність, справедливість доступу, стійкість).

На рівні міст отримано збалансовані конфігурації:

- Луцьк (агломерація): базове ядро з підвищеною спроможністю для «легких» та однією «важкою» лінією;
- Ковель: 3 «легкі» + 1 «важка», з підтвердженим покриттям за ізохронами після перецентрування моделі на міський центр;
- Володимир: 2 «легкі» + 1 «важка», із короткими добовими подовженнями у піки.

Обласна оптимізація MCLP (30 хв) показала доцільність п'яти вузлів ПКТС (три — в опорних агломераціях; два — периферійні для розрізнених зон). Сумарна річна потреба покривається 15 «легкими» та 4 «важкими» лініями, що відповідає прийнятим нормативним продуктивностям.

Ізохронні карти засвідчили досягнення цільового 30-хв доступу для більшої частки попиту; «довгі хвости» виникають лише в окремих периферійних осередках і можуть бути закриті мобільними/сезонними рішеннями або короткостроковим посиленням змін.

Сценарій росту парку +20 % за 3 роки не потребує негайного капітального розширення мережі: достатньо гнучких режимів (друга зміна/подовження), а інвестиції доцільно спрямувати в модернізацію вузлів з найбільшим гравітаційним попитом та у резервні можливості для «важких» категорій.

Запропонована конфігурація є стійкою до сезонних піків (індекс $\sim 1,4$ у 2–3 місяці) і відповідає принципам справедливості доступу: середні часи знижені p-median, а гарантований поріг обслуговування забезпечений MCLR.

ВИСНОВКИ

1. У роботі запропоновано методику просторово-мережевого планування мережі ПКТС для регіону на основі шестикутної сітки попиту (крок 10 км по області та 5 км у межах міських агломерацій), з урахуванням дорожньої мережі, профілів швидкостей і часових порогів доступності 15/30/45/60 хв. Теоретико-методичні та нормативні засади (ЄС, UNECE, Україна) узагальнено й використано як рамку вимог до періодичності контролю та спроможності пунктів.

2. Сформовано та параметризовано дві взаємодоповнювальні моделі розміщення: p-median (мінімізація середнього часу доїзду) та MCLP (максимальне покриття за порогом доступності). Для експлуатаційних розрахунків прийнято нормативну продуктивність однієї «легкої» лінії $\approx 9\,000$ оглядів/рік (≈ 40 од/добу, 250 роб. днів, $\rho=0,9$) та однієї «важкої» лінії $\approx 5\,625$ оглядів/рік (≈ 25 од/добу за тих самих умов).

3. На підставі прийнятих (ймовірних) обсягів парку з урахуванням транзитних потоків обчислено річний попит на ОТК по Волинській області: «легкі» – 133 000 оглядів/рік, «важкі» – 21 440 оглядів/рік, сумарно 154 440 оглядів/рік. Для покриття цього попиту за річним режимом потрібно щонайменше 15 «легких» та 4 «важкі» лінії (розраховано виходячи з прийнятих нормативних спроможностей).

4. Оптимізація MCLP (30 хв) на рівні області вказала на доцільність мережі з $p = 5$ пунктів (три в опорних агломераціях та 2 периферійні вузли) як базової конфігурації, що збалансовує покриття між міськими ядрами і малоцільними територіями.

5. Для обраної конфігурації MCLP ($p=5$) досягнуто такі частки попиту в межах ізохрон доступності: ≤ 15 хв – 19,0 %, ≤ 30 хв – 75,7 %, ≤ 45 хв – 88,1 %, ≤ 60 хв – 94,7 %. Це підтверджує досягнення цільового рівня доступності на порозі 30 хв для більшої частини попиту, а також наявність окремих

периферійних черг попиту, що можуть обслуговуватися завдяки периферійним вузлам і/або сезонним виїзним рішенням.

6. Аналіз пікових навантажень (індекс сезонного піку $\approx 1,4$) показав: розрахунковий піковий добовий попит для «легких» категорій становить ≈ 705 од/добу при базовій добовій спроможності мережі ≈ 600 од/добу, а для «важких» – ≈ 114 од/добу при базовій ≈ 100 од/добу. Відповідні операційні підсилення становлять $\approx +17,6\%$ («легкі») та $\approx +13,7\%$ («важкі») і можуть бути досягнуті за рахунок другої зміни/подовження без капітального розширення кількості ліній.

7. Сценарій зростання парку $+20\%$ за 3 роки може бути покритий переважно операційними заходами (гнучкі графіки, тимчасові зміни, короткочасне розгортання додаткової «легкої» лінії у якірних вузлах у пікові періоди). Необхідності в негайному сталому збільшенні числа «важких» ліній не виявлено – достатньо коротких подовжень зміни в піки.

8. Запропонована мережа з 5 пунктів та сумарною потужністю 15 «легких» + 4 «важкі» лінії відповідає річному попиту, досягає цілей доступності, знижує середній час доїзду та забезпечує стійкість до сезонних піків.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Directive 2014/45/EU of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 on periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/45/oj/eng> (дата звернення: 27.10.2025).
2. Directive 2014/47/EU of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 on the technical roadside inspection of the roadworthiness of commercial vehicles circulating in the Union. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/47/oj/eng> (дата звернення: 27.10.2025).
3. Directive 2014/46/EU of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 amending Council Directive 1999/37/EC on the registration documents for vehicles. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32014L0046> (дата звернення: 27.10.2025).
4. Proposal for a Directive amending Directives 2014/45/EU and 2014/47/EU (COM(2025) 180). EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52025PC0180> (дата звернення: 27.10.2025). (Зазначено як актуальна законодавча ініціатива ЄС.)
5. UNECE. Agreement concerning the Adoption of Uniform Conditions for Periodical Technical Inspections of Wheeled Vehicles and the Reciprocal Recognition of Such Inspections (1997 Agreement). UNECE. URL: <https://unece.org/transportvehicle-regulations/text-1997-agreement> (дата звернення: 27.10.2025).
6. UNECE. Periodic Technical Inspection: Rule No. 1 (environmental) and Rule No. 2 (safety): overview materials. UNECE. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2020/SafeFITS/SIII_UNECE_WN.pdf (дата звернення: 27.10.2025).

7. Закон України «Про дорожній рух» від 30.06.1993 № 3353-ХІІ (із змінами). База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/3353-12> (дата звернення: 27.10.2025).

8. Постанова Кабінету Міністрів України від 30.01.2012 № 137 «Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу» (із змінами). База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/137-2012-%D0%BF> (дата звернення: 27.10.2025).

9. Наказ МВС України від 27.12.2023 № 1075 «Про затвердження Порядку відеофіксації процесу перевірки конструкції та технічного стану колісного транспортного засобу під час проведення обов'язкового технічного контролю». База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0197-24> (дата звернення: 27.10.2025).

10. Головний сервісний центр МВС. «Обов'язковий технічний контроль: що це та для кого? (періодичність та категорії ТЗ)». Офіційний сайт ГСЦ МВС. URL: <https://hsc.gov.ua/index/poslugi/faq/obov-yazkovij-tehnicnij-kontrol-shho-tse-ta-dlya-kogo/obov-yazkovij-tehnicnij-kontrol-shho-tse-ta-dlya-kogo-2/> (дата звернення: 27.10.2025). hsc.gov.ua

11. Головний сервісний центр МВС. «Які автомобілі мають проходити обов'язковий технічний контроль та з якою періодичністю?» (оновлення від 29.07.2025). Офіційний сайт ГСЦ МВС. URL: <https://hsc.gov.ua/2025/07/29/yaki-avtomobili-mayut-prohoditi-obov-yazkovij-tehnicnij-kontrol-ta-z-yakoyu-periodichnistyu/> (дата звернення: 27.10.2025).

12. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 24 с.

13. Church, R.L., ReVelle, C. *Theoretical and Computational Links between the p-Median, Location Set-Covering, and the Maximal Covering Location Problem*. Geographical Analysis, 1976. URL:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.1976.tb00547.x> (дата звернення: 27.10.2025).

14. Murray, A.T. *The Maximal Coverage Location Problem: A Review and Prospects*. International Regional Science Review, 2016. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0160017615600222> (дата звернення: 27.10.2025).

15. Karatas, M., et al. *A Comparison of p-median and Maximal Coverage Location Problems*. Procedia Engineering, 2016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816311602> (дата звернення: 27.10.2025).

16. International Transport Forum (OECD). *Accessibility and Transport Appraisal: Approaches and Practical Applications*. 2019. URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/accessibility-transport-appraisal.pdf> (дата звернення: 27.10.2025).

17. Transport Knowledge Base (TFResource). *Accessibility — topic overview*. 2024. URL: <https://tfresource.org/topics/Accessibility.html> (дата звернення: 27.10.2025).

18. Hansen, W.G. *How Accessibility Shapes Land Use* (класична дефініція; цит. за сучасними оглядами). Див.: Hadjidimitriou, N.S. (2025) *Hansen's Accessibility Theory and Machine Learning*. Netnomics. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11067-025-09674-2> (дата звернення: 27.10.2025).

19. Luo, W., Wang, F. *Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: Synthesis and a case study in the Chicago region*. Environment and Planning B, 2003. PDF: https://www.niu.edu/landform/papers/luo_wang2003.pdf (дата звернення: 27.10.2025).

20. Luo, W., Qi, Y. *An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians*. Health & Place, 2009. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1353829209000574> (дата звернення: 27.10.2025).

звернення: 27.10.2025). (Див. також відкритий препринт: https://www.niu.edu/landform/papers/jhap741_e2sfca.pdf).

21. Pereira, R.H.M., Schwanen, T., Banister, D. *Distributive justice and equity in transportation*. Transport Reviews, 2017. URL: <https://ideas.repec.org/a/taf/transr/v37y2017i2p170-191.html> (дата звернення: 27.10.2025).

22. Bruzzone, F., Cavallaro, F., Nocera, S. *The definition of equity in transport: A review*. Case Studies on Transport Policy, 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214652300203X> (дата звернення: 27.10.2025).

23. Trucco, P., Petrenj, B., Rizzi, R.L., Landi, M. *Resilience Metrics for Interdependent Infrastructure Systems: A Literature Review*. 2020. (Огляд). Доступ: ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/349717319_Resilience_Metrics_for_Interdependent_Infrastructure_Systems_A_Literature_Review_Part_1 (дата звернення: 27.10.2025).

24. Bruckler, M., et al. *Review of metrics to assess resilience capacities and actions in transportation systems*. Transportation Research Part A, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835224002973> (дата звернення: 27.10.2025).

25. Liu, W., et al. *Resilience assessment of urban connected infrastructure networks*. Scientific Reports, 2025. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-03730-0> (дата звернення: 27.10.2025).

26. Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 2008, 1(1), 83–98. URL: <https://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aadea6d.pdf> (дата звернення: 27.10.2025).

27. Triantaphyllou, E. *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Boston: Springer, 2000. URL:

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4757-3157-6> (дата звернення: 27.10.2025).

28. Saaty, T.L. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications, 1996. URL (PDF вибірка): <https://www.cs.put.poznan.pl/ewgmcda/pdf/SaatyBook.pdf> (дата звернення: 27.10.2025).

29. Hwang, C.-L., Yoon, K. *Multiple Attribute Decision Making*. Berlin: Springer, 1981. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-48318-9> (дата звернення: 27.10.2025).

30. Opricovic, S., Tzeng, G.-H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 2004, 156(2), 445–455. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221703000201> (дата звернення: 27.10.2025).

31. Brans, J.P., Vincke, P. Note—A Preference Ranking Organization Method (The PROMETHEE Method for MCDM). *Management Science*, 1985, 31(6), 647–656. DOI: 10.1287/mnsc.31.6.647. URL: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.31.6.647> (дата звернення: 27.10.2025).

32. De Keyser, W., Peeters, P. A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods. *European Journal of Operational Research*, 1996, 89(3), 457–461. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221794003076> (дата звернення: 27.10.2025).

33. Roy, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 1991, 31, 49–73. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00134132> (дата звернення: 27.10.2025).

34. Bisdorff, R., et al. (або узагальнювальні огляди). *A Comprehensive Overview of the ELECTRE Method in MCDA*. *Journal of Mechanical Systems and Engineering Research*, 2023. URL:

<https://journals.bilpubgroup.com/index.php/jmser/article/download/5637/4885/24831> (дата звернення: 27.10.2025).

35. Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K.M., et al. Multiple criteria decision-making techniques and their applications—A review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2015, 28(1), 516–571. URL: <https://ideas.repec.org/a/taf/reroxx/v28y2015i1p516-571.html> (дата звернення: 27.10.2025).

36. ReVelle C.S., Swain R.W. Central facilities location. *Geographical Analysis*, 1970, 2(1), 30–42. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1538-4632.1970.tb00142.x> (дата звернення: 27.10.2025).

37. Daskin M.S. *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2013. DOI: 10.1002/9781118537015. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118537015> (дата звернення: 27.10.2025).

38. Church R., ReVelle C. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 1974, 32, 101–118. DOI: 10.1007/BF01942293. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01942293> (дата звернення: 27.10.2025).

39. Toregas C., Swain R., ReVelle C., Bergman L. The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 1971, 19(6), 1363–1373. DOI: 10.1287/opre.19.6.1363. URL: https://yalma.fime.uanl.mx/~roger/work/teaching/class_tso/docs/1971-or-Toregas%20etal-The%20Location%20of%20Emergency%20Service%20Facilities.pdf (дата звернення: 27.10.2025).

40. Pirkul H., Schilling D.A. The maximal covering location problem with capacities on total workload. *Management Science*, 1991, 37(2), 233–248. DOI: 10.1287/mnsc.37.2.233. URL:

<https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.37.2.233> (дата звернення: 27.10.2025).

41. Pirkul H., Schilling D.A. The capacitated maximal covering location problem with backup service. *[Working/early paper]*. Доступні версії: ResearchGate/Academia. URL: https://www.academia.edu/15301282/The_capacitated_maximal_covering_location_problem_with_backup_service (дата звернення: 27.10.2025).

42. Farahani R.Z., SteadieSeifi M., Asgari N. Multiple criteria facility location problems: A survey. *Applied Mathematical Modelling*, 2010, 34(7), 1689–1709. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X09003242> (дата звернення: 27.10.2025).

43. Mavrotas G. Effective implementation of the ε -constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, 2009, 213(2), 455–465. URL: <https://www.researchgate.net/.../Mavrotas.pdf> (дата звернення: 27.10.2025).

44. Nikas A., et al. A robust augmented ε -constraint method (AUGMECON-R) for multiobjective optimization. *Group Decision and Negotiation*, 2022, 31, 477–503. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12351-020-00574-6> (дата звернення: 27.10.2025).

45. Marsh M.T., Schilling D.A. Equity measurement in facility location analysis: A review and framework. *European Journal of Operational Research*, 1994, 74(1), 1–17. URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/ejores/v74y1994i1p1-17.html> (дата звернення: 27.10.2025).

46. UNECE WP.29. Resolution R.E.6: Recommendations for Periodic Technical Inspections. Geneva: United Nations, 2017

47. Luo W., Qi Y. An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians // *Health & Place*. 2009. Vol. 15(4). P. 1100-1107

48. Gross D., Shortle J. F., Thompson J. M., Harris C. M. *Fundamentals of Queueing Theory*. 5th ed. Hoboken: Wiley, 2018 DOI: 10.1002/9781119451217

49. ESRI. ArcGIS Pro: Network Analyst—Isochrones and Service Areas. Redlands: Esri Press, 2021
50. Gross D., Shortle J. F., Thompson J. M., Harris C. M. Fundamentals of Queueing Theory. 5th ed. Hoboken: Wiley, 2018 DOI: 10.1002/9781119451217
51. Навчальні та кваліфікаційні роботи : методичні вказівки до оформлення навчальних та кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів освітньо-професійних програм: «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» галузь знань 27 Транспорт, спеціальностей: 274 Автомобільний транспорт, 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті) денної та заочної форм навчання / уклад. В. М. Придюк, В. А. Кищун, В. М. Дембіцький, В. І. Павлюк. – Луцьк : Луцький НТУ, 2019. – 56 с.