МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методологія наукових досліджень, математичне моделювання та оптимізація

Методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
освітньо-наукової програми «Харчові технології»
галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво
спеціальності G13 Харчові технології
денної форми навчання

Луцьк 2026

УДК 655.28.022.14
М 54

До друку

Голова вченої ради факультету митної справи,
матеріалів, технологій та гостинності ЛНТУ _____ В. В. Ткачук

Затверджено вченою радою факультету митної справи, матеріалів, технологій та гостинності ЛНТУ, протокол № __ від _____ 2026 року

Електронна копія друкованого видання передана для внесення
в репозиторій ЛНТУ
Директор бібліотеки _____ Н. П. Поліщук

Рекомендовано до видання на засіданні кафедри харчових технологій та хімії ЛНТУ, протокол № __ від _____ 2026 року

Завідувач кафедри ХТХ ___ _____ І. М. Дударєв

Укладач:_____ І. М. Дударєв, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій та хімії ЛНТУ

Рецензент:_____ С. Г. Панасюк, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій та хімії ЛНТУ

Відповідальний за випуск:_____І. М. Дударєв, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій та хімії ЛНТУ

М 54 **Методологія наукових досліджень, математичне моделювання та оптимізація** [Текст] : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти освітньо-наукової програми «Харчові технології» галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G13 Харчові технології денної форми навчання / уклад. І. М. Дударєв. Луцьк : ЛНТУ, 2026. 120 с.

Методичне видання складене для надання методичної допомоги здобувачам вищої освіти з дисципліни «Методологія наукових досліджень, математичне моделювання та оптимізація».

© І. М. Дударєв, 2026

ЗМІСТ

Вступ…… 4
Практичне заняття № 1. Пошук інформації із використанням наукометричних баз та інформаційно-пошукових систем……. 5
Практичне заняття № 2. Створення авторських профілів науковця…..… 12
Практичне заняття № 3. Структура наукового дослідження……..… 19
Практичне заняття № 4. Оформлення розділів дисертаційного дослідження……...…….. 23
Практичне заняття № 5. Методи експертного оцінювання..……..... 26
Практичне заняття № 6. Метод SWOT-аналізу..…….. 30
Практичне заняття № 7. Перевірка статистичних гіпотез та кореляційний аналіз……...……..... 34
Практичне заняття № 8. Підготовлення статті у наукове видання…… 48
Практичне заняття № 9. Підготовлення тез та презентація результатів досліджень……...…… 52
Практичне заняття № 10. Застосування теорії подібності та аналізу розмірності під час моделювання технологічних процесів…… 55
Практичне заняття № 11. Статистичне моделювання……..…… 64
Практичне заняття № 12. Математичний метод планування експерименту……...… 69
Практичне заняття № 13. Класичний метод оптимізації, математичне програмування та симплекс-метод……...…… 74
Практичне заняття № 14. Підготовлення заявки на винахід (корисну модель)…….…… 95
Список використаних джерел……... 103
Додатки…… 105

ВСТУП

Широкий вибір форм організації науково-дослідної роботи здобувачів вищої освіти має велике значення для створення у вищому навчальному закладі атмосфери творчості, а залучення здобувачів до наукових досліджень сприяє активізації їх розумової діяльності, самовдосконаленню і самореалізації. Вивчення курсу «Методологія наукових досліджень, математичне моделювання та оптимізація» дозволяє здобувачам впевнено долучатися до виконання наукових досліджень – від підготовки виступу із презентацією за результатами власних досліджень на конференції до виконання дисертаційного дослідження та підготовлення наукових статей, заявок на винахід (корисну модель) тощо.

Дисципліна «Методологія наукових досліджень, математичне моделювання та оптимізація» допомагає здобувачам вищої освіти розкрити можливості їх участі в науково-дослідній роботі як найбільш активній і творчій формі одержання знань.

Під час укладання методичних вказівок використано матеріали, що є в навчально-методичній літературі, законодавстві України та інших джерелах, що представлені у списку використаних джерел. Усі запозичені матеріали використанні лише в навчальних цілях.

У методичних вказівках представлено короткі теоретичні відомості та приклади виконання завдань, зокрема із використанням системи комп’ютерної математики MathCAD, а також представлені необхідні довідкові матеріали, що використовують під час виконання обчислень, рекомендована література та завдання для виконання практичних занять із цієї дисципліни.

Практичне заняття № 1
Пошук інформації із використанням наукометричних баз та інформаційно-пошукових систем

Мета: навчитися проводити пошук, оброблення та аналіз інформації, а також оформлювати цитування та джерела наукової інформації.

Теоретичні відомості

Наукометрична база даних – це бібліографічна і реферативна база даних з інструментами для відстеження цитованості статей, опублікованих у наукових виданнях. **Пошукові системи наукової інформації та наукометричні бази даних:**

Open Ukrainian Citation Index (OUCI) – це пошукова система і база даних наукових цитувань, які надходять від усіх видань, що використовують сервіс Cited-by від Crossref та підтримують Initiative for Open Citations. OUCI дозволяє спростити пошук наукових публікацій, дозволяє вивчати зв'язки між авторами та документами з різних наукових дисциплін, зокрема, в галузі суспільних та гуманітарних наук [1]. https://ouci.dntb.gov.ua/about/how-it-works/

ScienceDirect – повнотекстова база даних компанії Elsevier, яка містить 25% світових наукових публікацій з усіх галузей знань від понад 47 тис. авторів. На платформі ScienceDirect представлені типи наукових видань: електронні книги Elsevier (eBooks), книжкові серії (Book Series), довідкові видання (Handbook), навчальні посібники (Textbooks) тощо. Серед переваг використання платформи ScienceDirect – зручний та інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс, широко розповсюджені формати завантаження повних текстів (PDF і HTML) та наявність гіперпосилань на значну кількість науково-технічних статей на платформах інших видавництв [1]. https://www.sciencedirect.com/

MICROSOFT ACADEMIC – відкрита загальнодоступна пошукова система для наукових публікацій і літератури, розроблена Microsoft Research. Має пошукову систему з використанням технологій семантичного пошуку. У ній індексується більше 220 мільйонів публікацій, 88 мільйонів з яких є журнальними статтями [1]. https://academic.microsoft.com/home

Google Scholar – це інформаційно-пошукова система, орієнтована на пошук наукової літератури за різними галузями знань та за різними джерелами, включаючи рецензовані статті, дисертації, книги, реферати і звіти, що опубліковані видавництвами наукової літератури, професійними асоціаціями, вищими навчальними закладами та іншими науковими організаціями [1]. https://scholar.google.com.ua/

Мета – це повнотекстовий пошук із урахуванням морфології української, російської та англійської мов. Фінансові та комп'ютерні новини, погода, маркетингові дослідження українського Інтернету [1]. https://meta.ua/

BASE: Bielefeld Academic Search Engine – це одна з найбільших у світі пошукових систем наукових документів відкритого доступу в Інтернеті.

Оператором BASE є бібліотека університету Білефельд (Німеччина) [1]. https://www.base-search.net/

RefSeek – це пошукова система для студентів та дослідників, що здійснює пошук серед веб-сторінок, книг, енциклопедій, журналів і газет [1]. https://www.refseek.com/

Science.gov – це онлайнова пошукова система, що охоплює більш ніж 60 баз даних та понад 2200 окремих сайтів, які пропонують 200 мільйонів сторінок інформації авторитетних наукових установ США, зокрема результати досліджень і розробок [1]. https://www.science.gov/

ScienceResearch.com – це наукова пошукова система, яка здійснює повнотекстовий пошук у журналах багатьох великих наукових видавництв (Elsevier, Highwire, IEEE, Nature, Taylor & Francis та ін.). Шукає статті та документи у відкритих наукових базах даних: Directory of Open Access Journals, Library of Congress Online Catalog, Science.gov, Scientific News [1]. https://www.scienceresearch.com/scienceresearch/desktop/en/search.html

CrossRef – це об'єднання видавців наукових публікацій (журналів, монографій, збірників матеріалів конференцій), створене з метою розроблення та підтримання всесвітньої високотехнологічної інфраструктури наукових комунікацій. Головним завданням CrossRef є сприяння широкому використанню інноваційних технологій для прискорення і полегшення наукових досліджень. Особлива увага CrossRef зосереджена навколо питань розбудови електронної інфраструктури взаємної цитованості наукових публікацій. Асоціація CrossRef підтримує спільну всесвітню службу взаємної цитованості, яка функціонує як своєрідний шлюз між електронними платформами видавців. Ця служба не зберігає повні тексти наукових публікацій, але вона зберігає інформацію про зв'язки публікацій через технологію Digital Object Identifier (CrossRef DOI), а також метадані опублікованих наукових матеріалів [1]. https://www.crossref.org/

Scopus – це одна з найбільших уніфікованих реферативних та цитатних баз даних рецензованої науково-дослідної літератури. Scopus охоплює науково-дослідну літературу з усього світу, а також якісні інтернет-джерела з ефективними інструментами для відстежування, аналізу та візуалізації досліджень [1]. https://www.scopus.com/home.uri

DIMENSIONS – це наукометрична система нового покоління від компанії Digital Science. Платформа Dimensions об'єднує інформацію про наукові статті, клінічні дослідження, патенти, гранти, показники цитованості та альтернативні метрики впливовості наукових публікацій [1]. https://app.dimensions.ai/discover/publication

Index Copernicus (IC) – це міжнародна платформа для просування спеціалізованих наукових досягнень. Щорічно вона публікує рейтинг видань та проводить детальний аналіз не тільки наукового рівня кожного журналу, але і його оформлення, розповсюдженості, привабливості для читачів тощо [1]. https://journals.indexcopernicus.com/?lang=

ResearchBib (Японія) – це відкрита за доступом високо стандартизована база даних для індексації наукових праць дослідників і видавців, яка архівує

статті з журналів або тези конференцій, журнальний профіль, дослідницькі позиції тощо. ResearchBib є найбільшою базою даних журналів (понад 420 тисяч найменувань), які подано у вільному доступі в мережі Інтернет [1]. http://www.researchbib.com/

WorldCat – це найбільша в світі бібліографічна база даних, яка налічує понад 240 млн записів на 470 мовах світу. База створюється спільними зусиллями більш ніж 72 тис. бібліотек зі 170 країн світу в рамках організації OCLC [1]. https://www.worldcat.org/

Ulrichsweb (Ulrich's Periodicals Directory) – це авторитетна міжнародна база даних, яка містить опис понад 300 тисяч періодичних видань. Ulrichsweb активно використовується співробітниками електронних каталогів, бібліотек, репозитаріїв, наукометричних баз Scopus і Web of Science для отримання докладної інформації про наукові журнали [1]. http://ulrichsweb.serialssolutions.com/login

DOAJ (Directory of Open Access Journals) – це важливою сходинкою на шляху наукового журналу до індексації в авторитетних міжнародних наукометричних базах Scopus і Web of Science [1]. https://doaj.org/

Авторський профіль – це сукупність інформації в наукометричній базі даних щодо: місця роботи автора, його публікацій та їх цитування, років публікаційної активності, галузі досліджень, співавторства, наукометричних показників (індекс цитування, індекс Хірша тощо), списку використаних в роботах літературних джерел тощо. Кожному авторському профілю присвоюється унікальний ідентифікатор [2].

Ідентифікатор автора (ID) – унікальний ідентифікатор, який використовується для того, щоб відрізняти Вас від інших дослідників, які мають однакові або подібні імена та допомагати пов’язати всі Ваші публікації та дослідження з Вашим профілем у базах даних або в Інтернеті [2]. Сервіси, за допомогою яких можна створити особистий профіль:

ORCID (Open Researcher and Contributor ID) – це відкритий, міжнародний, мультидисциплінарний реєстр унікальних ідентифікаторів дослідників. Забезпечує вільний доступ до профілів вчених та прозоро представляє їх науково-дослідну діяльність.

Google Академія (Google Scholar) – це некомерційна спеціалізована пошукова система, що індексує наукові публікації та наводить дані щодо їх цитування.

Scopus Author ID – це ідентифікатор автора, що автоматично присвоюється досліднику, під час появи його публікацій у виданнях, які індексуються у наукометричній базі Scopus.

ResearchGate – це безкоштовна соціальна мережа, інформаційний майданчик для наукової спільноти та інструмент співпраці вчених із різних наукових галузей.

Mendeley – це система управління бібліографічною інформацією, має підключення до міжнародної соціальної мережі вчених. Mendeley є продуктом компанії Elsevier. Цей системний продукт дозволяє підвищити ефективність

наукової праці та публіцистичної діяльності вчених. Програма є доступною для встановлення з можливістю безкоштовного користування.

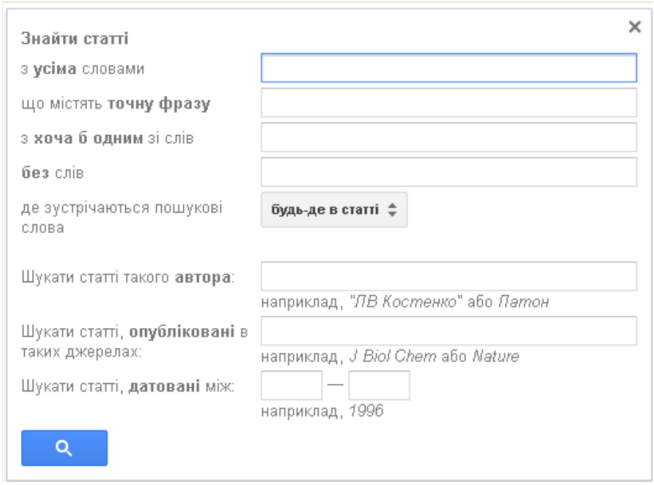
Google Академія

Для проведення простого пошуку в Google Академії (http://scholar.google.com) достатньо ввести пошуковий запит і натиснути кнопку пошуку. Google Академія проводить пошук серед різних наукових дисциплін та джерел, включаючи рецензовані статті, дисертації, книги, анотації, статті академічних видань, професійних асоціацій, сховища препринтів, сайтів вищих навчальних закладів та освітніх організацій. Google Академія оцінює повний текст статті, автора, видання, в якому було опубліковано статтю, кількість цитувань статті в академічній літературі і відображає найбільш релевантні записи на першій сторінці результатів пошуку.

Google Академія дозволяє упорядкувати, чи відфільтрувати результати пошуку за датою, створити сповіщення, вилучати з результатів пошуку патенти, або цитати. Усі записи в результатах пошуку – гіперактивні. Натисніть на посилання, щоб перейти на веб-сторінку з якої отримано дані про документ. Запис у результатах пошуку може містити інформацію про кількість цитувань документу, пов'язані статті, кількість версій, посилання на завантаження повного тексту. Щоб переглянути потрібну інформацію – просто натисніть на відповідне посилання. Щоб викликати вікно розширеного пошуку Google Академія потрібно натиснути на «трикутник» у рядку пошуку.



Опції розширеного пошуку, що дозволяють проводити пошук за точною фразою, дозволяють віднайти документи конкретного автора чи конкретного видання, встановити діапазон дат.



Google Академія підтримує і більшість операторів розширеного пошуку:

Оператор	Дія
+	додати в пошуковий запит загальні назви, букви або цифри, які, як правило, ігноруються пошуковою системою;
-	відкинути всі результати, які містять заданий термін;
«…»	лише результати, в яких міститься конкретна фраза;
OR	результати, які міститимуть один з пошукових термінів;
intitle…	пошук лише у заголовку документів.

Оформлення цитувань

Переказ думок та ідей, цитати, цифрові показники, формули, таблиці, графіки, схеми, фотографії тощо, які запозичені з джерел інформації, повинні обов'язково мати посилання із вказуванням автора (авторів), назви твору, назви видання, номеру випуску видання (для періодичних видань), видавництва, року і місця видання, сторінок або режиму доступу (електронної адреси, дати перегляду тощо). Розрізняють два основних види цитування: пряме та непряме. **Пряме цитування** використовують у випадку, коли необхідно без змін відтворити фрагмент тексту іншого автора (авторів). Пряма цитата обов'язково береться у лапки та вказується джерело. Під час прямого цитування недопустиме перекручення думок, ідей, результатів досліджень автора (авторів). У прямій цитаті допускається пропускання слів, речень та абзаців, що позначається трикрапкою в тексті [2].

Різновидом прямої цитати є **епіграф**, який розташовують перед текстом наукової праці як виразник основної думки у формі короткого вислову видатної людини [2].

Непряме цитування (парафраз) передбачає викладання або узагальнення думок, ідей, результатів досліджень іншого автора (авторів) своїми словами. Парафраз не береться у лапки, але вказується джерело [2].

Цитувати необхідно першоджерело, а не вторинне джерело, в якому є цитата. Якщо першоджерело недоступне, тоді можна посилатися на джерело (вторинне), в якому міститься ця цитата [2].

Цитати необхідно подавати мовою наукової праці, тобто переклавши з оригіналу. Якщо неможливо якісно перекласти оригінал, тоді доцільно використовувати парафраз з посиланням на джерело інформації. Якщо думки, ідеї, результати досліджень іншого автора (авторів) використовуються повністю або частково у тексті наукової праці без зазначення джерела, тоді це розцінюється як **плагіат**. Якщо автор повністю або частково використовує в науковій праці свої матеріали, які вже були опубліковані раніше, без посилання на джерело, тоді це розцінюється як **самоплагіат**. Належно оформлене самоцитування допускається за необхідності зробити певні пояснення в науковій праці або доповнити дослідження попередніми результатами [2].

Особливості оформлення цитувань [2]:

- якщо автор супроводжує цитату своїми словами, тоді розділові знаки, як у випадку прямої мови;

- якщо цитата розташована у реченні, тоді вона береться у лапки та зазначається джерело;

- якщо цитується фрагмент тексту, де пропускаються окремі слова, речення, абзаци, тоді на їх місці ставляться три крапки, а сама цитата береться у лапки та зазначається джерело;

- якщо першоджерело недоступне, тоді посилаються на джерело (вторинне) з цією цитатою: «Цит. за:» (Цитується за);

- якщо цитата у формі епіграфа, тоді вона подається без лапок, а автор зазначається нижче (справа);

- спочатку зазначають ініціали автора тексту (повні імена не зазначаються), що цитується, а потім прізвище (якщо авторів кілька, їх розташовують у тому порядку, як вказано у першоджерелі);

- якщо цитуються кілька джерел, тоді у дужках їх розташовують у хронологічному (не в алфавітному) порядку;

- якщо цитується іноземне джерело, тоді у тексті прізвища подаються мовою написання наукової праці, а в дужках зазначаються мовою оригіналу;

- якщо цитується кілька праць автора (авторів – за умови, що в усіх працях послідовність розміщення авторів однакова), які опубліковані в тому ж році, тоді до року додається позначення літерою (a, b, c, …), яке враховується у списку посилань;

- якщо використовуються дані інших авторів у формі таблиці чи графічного матеріалу або ж формули тощо, тоді також необхідно вказати джерело інформації;

- якщо цитата береться з наукової праці великого обсягу, тоді, окрім джерела, необхідно вказувати сторінку, на якій розташовано фрагмент, що цитується.

Порядок виконання практичного заняття

Завдання 1. У пошуковій системі Google Академія (Google Scholar) знайти профіль науковця Flavio Raponi, визначити його місце роботи (навчання), загальну кількість цитувань, h-індекс, 10-індекс та найбільш цитовану його публікацію. Вказати трьох його співавторів. Знайти його статтю під назвою «Monitoring and optimization of the process of drying fruits and vegetables using computer vision: a review» та встановити: співавторів статті; місце публікації (журнал) статті; кількість цитувань (за роками) статті; кількість версій статті в Google Scholar. Відкрити статтю та скопіювати її Аннотацію (Abstract), а також посилання на неї в AMA Style. Завантажити статтю в pdf-форматі.

Завдання 2. У реєстрі дослідників ORCID знайти авторський профіль Senem Kamiloglu, яка працює в Bursa Uludag University та Ghent University. Визначити її ідентифікатор в ORCID. Визначити тривалість її роботи в Ghent University. Знайти її публікацію під назвою «Use of Nanotechnological Methods for

the Analysis and Stability of Food Antioxidants» та встановити DOI, перейшовши за яким, скопіювати ключові слова (keywords) у цій публікації.

Завдання 3. Проаналізувати наукові статті за самостійно вибраною тематикою та скласти коротку інформацію (до 1 сторінки формату А4) про актуальність цього напряму досліджень, оформити цитування використаних джерел. Оформити список використаних джерел відповідно до стилю APA.

Контрольні запитання

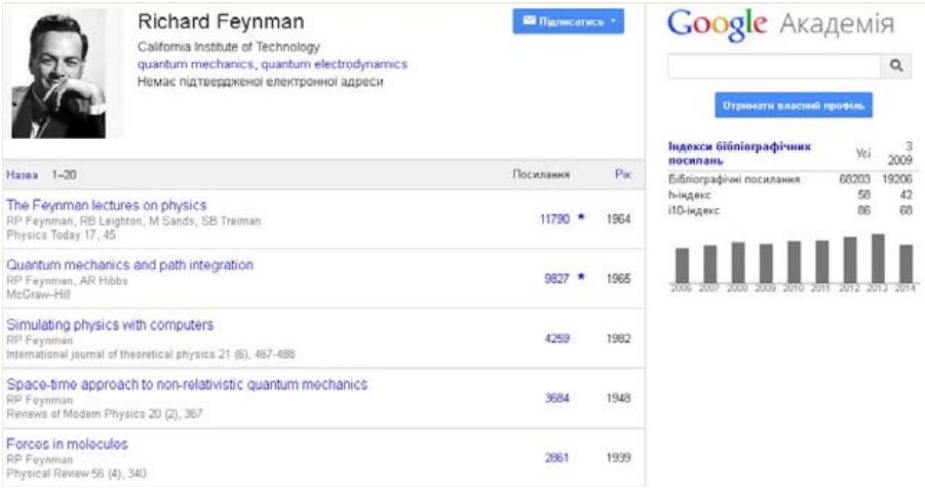
1. Для чого призначені наукометричні бази даних?
2. Які наукометричні бази даних Вам відомі?
3. Що таке ідентифікатор автора?
4. Яка послідовність проведення простого пошуку в Google Академії?
5. Як обчислюється h-індекс?
6. Як обчислюється 10-індекс?
7. Які стилі оформлення списку джерел інформації Вам відомі і які їх особливості?

Практичне заняття № 2
Створення авторських профілів науковця

Мета: навчитися створювати авторські профілі науковця в пошукових системах науковців.

Теоретичні відомості

Профіль вченого у **Google Академії** надає можливість авторам відстежувати бібліографічні посилання на свої статті. Можна переглядати, хто цитує ваші публікації, переглядати графіки цитувань у часі та розраховувати декілька наукометричних показників.



Для створення власного профілю у Google Академія необхідно натиснути «Мої цитати» (http://scholar.google.com.ua/citations) та пройти усі кроки реєстрації.



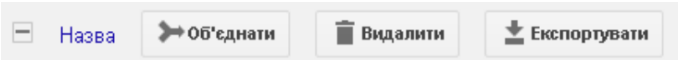
Крок 1. Вкажіть прізвище та ім'я так, як воно вказане у Ваших публікаціях, а також приналежність до установи, сферу наукових інтересів можна одночасно вказати латиницею і кирилицею, що покращить видимість профілю у Google Академія (наприклад: Ivan Ivanenko – Іван Іваненко). У полі «Електронна адреса для підтвердження» вказується академічна адреса електронної пошти (наприклад: yourname@kpi.edu.ua). При використанні неакадемічних поштових скриньок можуть виникати проблеми з підтвердженням, і Ваш профіль не буде видимий у результатах пошуку.

Крок 2. Знайдіть свої статті та додайте їх у профіль – для цього необхідно поставити позначки біля потрібних статей та натиснути кнопку «Додати». Завжди можна редагувати, видаляти та додавати нові статті у своєму профілі.

Крок 3. Вкажіть, чи бажаєте, щоб список статей у вашому профілі оновлювався автоматично, чи нехай спершу система надсилає вам лист для перегляду та підтвердження оновлень. Натисніть кнопку «Перейти до мого профілю». На адресу електронної пошти, яку ви вказали підчас реєстрації, повинен надійти лист із підтвердженням. Коли система отримає підтвердження – профіль розпочне відображатиметься у результатах пошуку. Перейшовши у власний профіль у Google Академія, можна відредагувати особисті дані, місце роботи/навчання, сферу наукових інтересів, додати власне фото (150x150) чи зробити профіль загальнодоступним.

За замовчуванням перелік публікацій буде відсортовано за кількістю цитувань. Щоб відсортувати список за датою публікації – натисніть «Рік», за абеткою – натисніть «Назва». Значок зірочка (*) означає, що показник кількості цитувань містить бібліографічні посилання, які можуть не відповідати цій статті. Завжди можна додавати нові документи у свій профіль за допомогою кнопки «Додати». У профіль Google Академія можна додавати як окремі статті, так і відразу цілу групу статей. Спробуйте задавати різні пошукові запити, щоб знайти всі свої публікації. Якщо вам так і не вдалось знайти потрібну статтю, то можна додати її вручну натиснувши на відповідне посилання.

Документи з переліку публікацій у профілі можна об'єднувати, видаляти, чи експортувати в одному з бібліографічних форматів. Для цього необхідно поставити позначку навпроти потрібного документу чи документів, і натиснути відповідну кнопку.

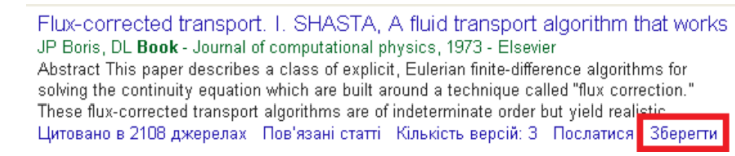


У профілі Google Академія автоматично укладається діаграма кількості цитувань документів за роками та обраховуються два наукометричні показники: h-індекс науковця дорівнює N якщо він є автором щонайменше N статей, кожну з яких було цитовано не менше ніж N разів; 10-індекс рівний кількості статей автора, які були процитовані не менше ніж 10 разів.

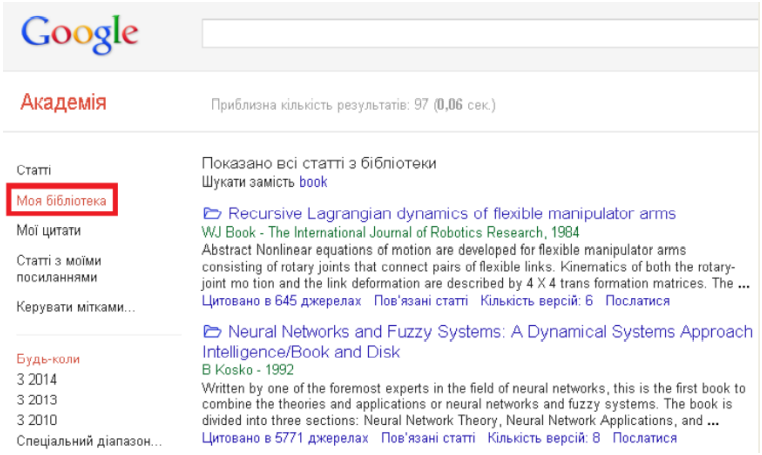


Google Академія дозволяє досліднику укладати свою бібліотеку бібліографічних посилань. Проводячи пошук у Google Академії ви завжди

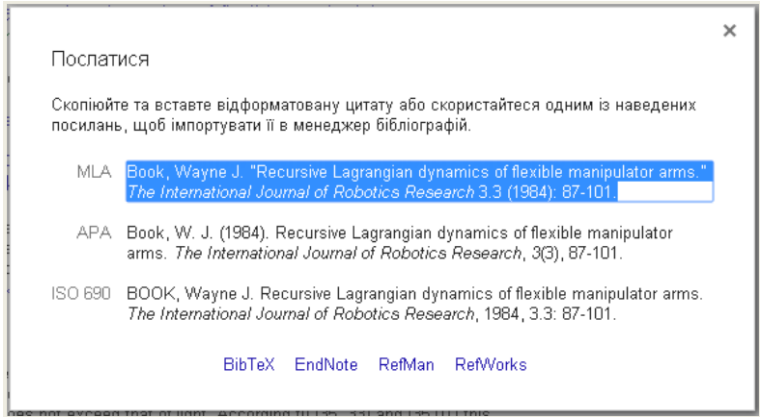
можете зберегти той чи інший результат пошуку у свою бібліотеку, натиснувши на посилання «Зберегти».



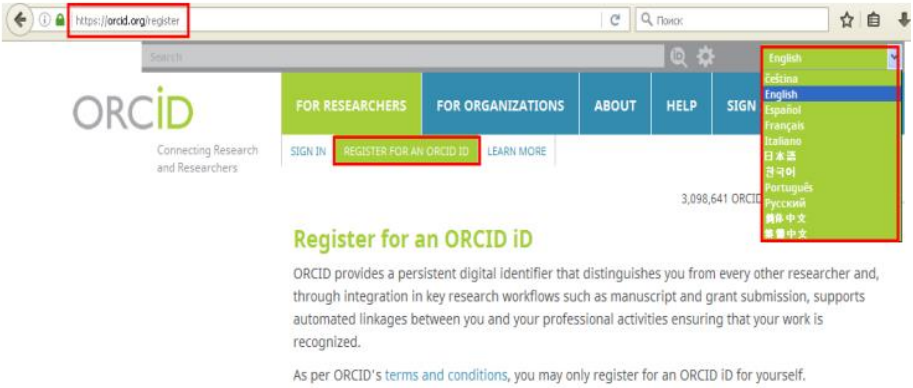
Для того, щоб перейти у свою бібліотеку бібліографічних посилань натисніть «Моя бібліотека».



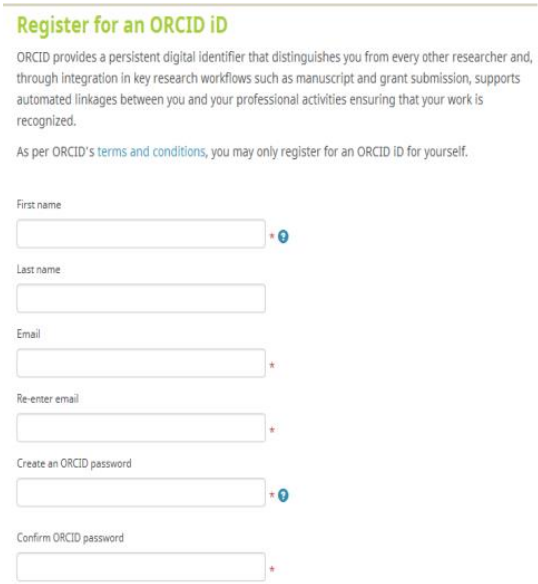
Переглядаючи бібліографічні посилання у своїй бібліотеці, легко можна процитувати потрібну публікацію – натисніть «Послатися», скопіюйте та вставте відформатовану цитату, або скористайтеся одним із наведених посилань, щоб імпортувати її в менеджер бібліографій.



ORCID – це 16-значний числовий код. Для реєстрації в ORCID необхідно перейти за посиланням: https://orcid.org/register Для зручності можна обрати зрозумілу мову інтерфейсу. Панель вибору мови знаходиться у правому верхньому куті екрану.

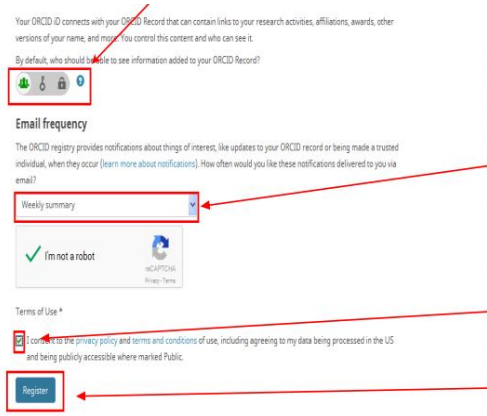


У реєстраційній формі заповніть відповідні поля латинськими літерами.



- ***First name*** (ім'я)
- ***Last name*** (прізвище)
- ***Email*** (електронна адреса)
- ***Re-enter email*** (повторити ел. адресу)
- ***Create an ORCID password*** (пароль)
- ***Confirm ORCID password*** (повторити пароль)

Встановіть налаштування приватності профілю: публічний доступ – інформація буде доступна всім відвідувачам сайту; обмежений доступ – інформація буде доступна лише обраним вами користувачам; приватний доступ – інформація буде доступна виключно вам.

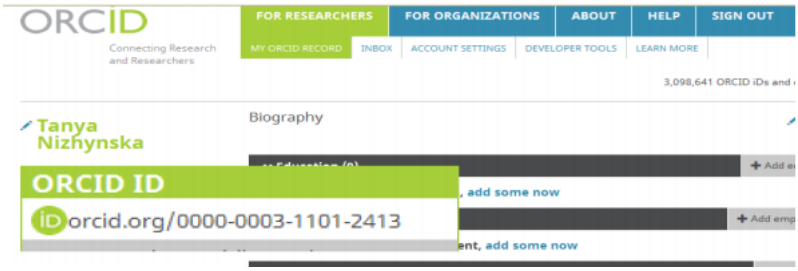


Повідомлення: служба підтримки ORCID розсилає інформаційні повідомлення, що можуть становити для Вас цікавість. Оберіть, як часто ви хочете отримувати такі повідомлення на свою електронну пошту.

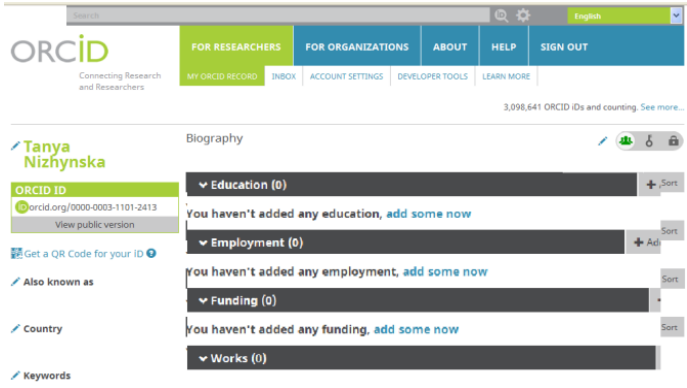
Я погоджуюся з політикою конфіденційності та умовами використання.

Register (Зареєструватись).

Після успішної реєстрації Вам безкоштовно буде присвоєно 16-значний ідентифікатор. Він відображатиметься ліворуч у Вашому обліковому записі.



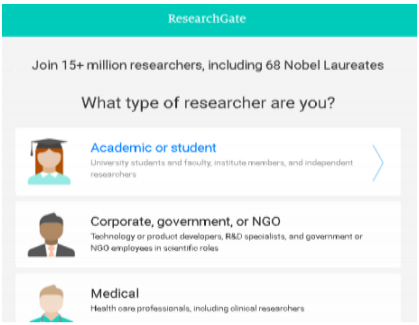
На вказану електронну пошту надійде лист з посиланням для підтвердження електронної адреси. Наступний крок – наповнення профілю контентом. У відповідних полях можна надати інформацію про освіту, місце роботи тощо: Education (Освіта); Employment (Місце роботи); Funding (Фінансування); Works (Праці).



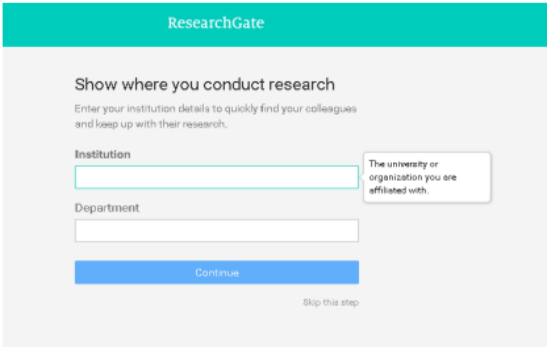
У полях, що розміщені ліворуч, можна надати наступну інформацію: Also known as (Також відомий як) – передбачає зазначення варіантів написання ім'я та прізвища, а також попереднє прізвище, за умови його зміни тощо; Country (Країна) – потрібно обрати зі списку; Keywords (Ключові слова) – сфера наукових інтересів, галузь знань; Websites (Веб-сайти) – відомості про інші свої представництва: посилання на наукові сторінки в соціальних мережах, посилання на свій профіль в Google Scholar. Також можна вказати свій ResearcherID, інтегрувавши його з ORCID. У персональному профілі є можливість ввести інформацію про свої публікації шляхом імпорту їх з інших баз даних. На сторінці з особистими даними виберіть розділ Works (Праці). Натисніть Search&link (Знайти і пов'язати), після чого відкриється вікно Link works (Імпорт робіт).

Для реєстрації у **ResearchGate** необхідно перейти на офіційний сайт за посиланням: https://www.researchgate.net і натиснути «Join for free» («Приєднайся безкоштовно»).

Крок 1. Вибрати, до якого типу дослідників ви належите («Academic researcher»).

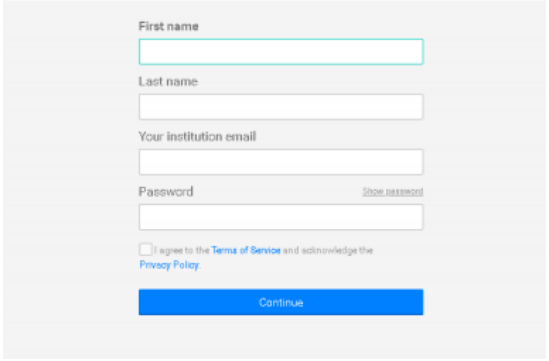


Крок 2. Заповнити поля (англійською): Institution – назва Університету; Department – назва Факультету / Інституту / НДЛ. Натиснути «Continue».



Крок 3. Заповнити поля (англійською): ім'я; прізвище; електронна пошта (корпоративна); пароль (не менше шести символів). Підтвердити умови

обслуговування та політику конфіденційності, проставивши галочку «Натиснути» «Continue».



Крок 4. Вам буде запропоновано вибрати не більше трьох тем (дисциплін), в яких ви спеціалізуєтесь. До кожної теми (дисципліни) можна додати не більше трьох підтем (субдисциплін). Після цього натиснути «Continue».

Крок 5. Вибрати ваші вміння і навички із запропонованого списку. У нижньому вікні є можливість вписати додатково ті навички і вміння, яких немає в переліку. Натиснути «Continue».

Крок 6. Додати своє фото (не обов'язково).

Після цих кроків на вашу електронну пошту прийде лист з привітанням і повідомленням про успішну реєстрацію. Необхідно підтвердити адресу електронної пошти для активації облікового запису. Після активації ви можете керувати своїм профілем: знаходити дослідження, які вас цікавлять; підписуватися на дослідників з усього світу; приєднуватись до відкритих дискусій; додавати власні дослідження, публікації; читати і обговорювати публікації інших; ділитися своїми напрацюваннями на будь-якій стадії дослідного циклу, щоб отримати наочність, цитати та поради; продивлятися докладні статистичні дані про те, хто читав вашу роботу, і відстежувати свої цитати тощо.

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. На вибір створити авторський профіль в ResearchGate, Google Академія або ORCID, заповнити його інформацією.

Контрольні запитання

1. За допомогою яких сервісів можна створити авторський профіль науковця?
2. Яка послідовність створення авторського профілю в Google Академії?
3. Яка послідовність створення авторського профіля науковця в ORCID?
4. Яка послідовність створення авторського профіля в ResearchGate?

Практичне заняття № 3
Структура наукового дослідження

Мета: навчитися складати структуру наукового дослідження.

Теоретичні відомості

Наукове дослідження є цілеспрямованим та систематизованим процесом наукового пізнання, спрямованим на вивчення певних явищ, процесів чи об'єктів, встановлення закономірностей, отримання нових знань та обґрунтування практичних рекомендацій. Його ефективність залежить від правильного визначення послідовності етапів дослідження, їхнього змісту та взаємозв'язку.

Важливим інструментом планування наукової діяльності є структурно-логічна схема наукового дослідження (рис. 3.1). Вона є графічним відображення загальної структури наукового дослідження. На ній за допомогою окремих блоків і стрілок представлені основні етапи дослідження, їх послідовність та логічна взаємозалежність.

Основним призначенням структурно-логічної схеми є систематизування процесу дослідження, визначення його основних складових та встановлення послідовності виконання наукових завдань. Така схема дозволяє наочно уявити загальну логіку дослідження, простежити перехід від теоретичного розроблення проблеми до практичного реалізування дослідницьких завдань та узагальнення отриманих результатів.

Структурно-логічну схему наукового дослідження формують відповідно до теми, мети, об'єкта, предмета та завдань роботи. Її зміст залежить від галузі науки, характеру проблеми, яку досліджують, вибраної методології та передбачуваних результатів. Тому універсальної схеми, що однаково підходить для всіх видів наукових досліджень, не існує.

Залежно від специфіки наукової роботи, структурно-логічна схема може містити такі основні складові:

1. Аналітичний (теоретичний) етап.

Передбачає опрацювання наукової, науково-технічної, навчальної, нормативної та інформаційно-аналітичної літератури з вибраної тематики. На цьому етапі проводять аналіз сучасного стану наукової проблеми, вивчають результати попередніх досліджень, визначають основні наукові підходи та перспективи подальшого вивчення.

2. Методологічний етап.

Охоплює визначення цілей, завдань, об'єкта та предмета дослідження, формулювання наукової гіпотези (за потреби), а також обґрунтування вибору методів та методик дослідження. Цей етап визначає загальну спрямованість наукової роботи та способи досягнення поставленої мети.

3. Експериментальний чи практичний етап.

Передбачає безпосереднє проведення досліджень відповідно до певної методології. Залежно від теми роботи він може містити лабораторні дослідження,

спостереження, вимірювання, експерименти, опитування, анкетування, моделювання та інші процедури дослідження.

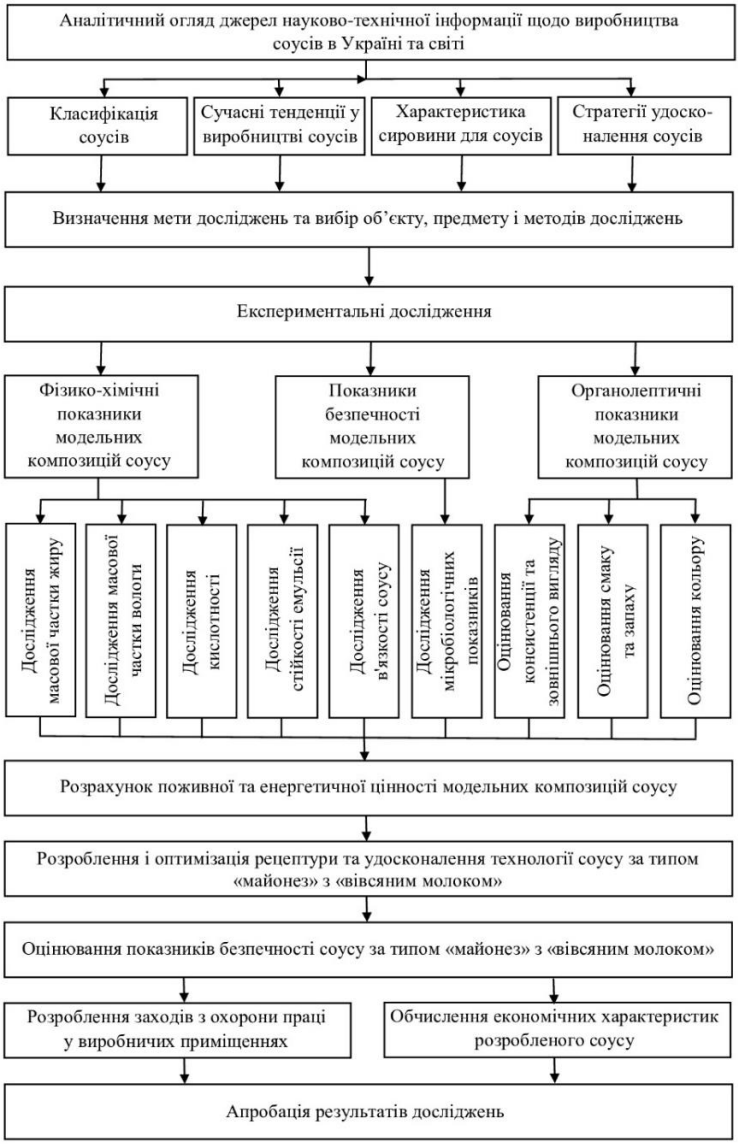


Рисунок 3.1 – Приклад структурно-логічної схеми наукового дослідження
Джерело: використано схему з джерела [2].

4. Аналітичний етап оброблення результатів.

Передбачає систематизування, оброблення та аналізування отриманих даних. На цьому етапі проводять необхідні обчислення, порівняння показників, статистичне опрацювання даних, встановлення закономірностей та взаємозв'язків між характеристиками, що досліджують.

5. Етап розроблення та обґрунтування пропозицій.

На основі результатів дослідження визначають можливі шляхи вдосконалення процесів або об'єктів, що вивчають, розробляють рекомендації, моделі, методики, технологічні рішення або інші пропозиції відповідно до поставлених цілей.

6. Оцінювання результатів дослідження.

Передбачає визначення наукової та практичної значущості одержаних результатів, оцінювання їх ефективності, достовірності та можливостей практичного застосування. За потреби цей етап може містити економічне обґрунтування, оцінювання безпеки та розгляд питань охорони праці.

7. Завершальний етап.

Охоплює узагальнення результатів, формулювання висновків, розроблення практичних рекомендацій та апробування результатів наукового дослідження.

Зазначені складові можуть змінюватися, об'єднуватись або деталізуватися залежно від особливостей конкретної наукової роботи.

При розробленні структурно-логічної схеми наукового дослідження необхідно дотримуватись таких основних принципів:

1) Послідовність – всі етапи дослідження мають бути розташовані відповідно до логіки виконання наукової роботи.

2) Системність – усі складові схеми мають утворювати цілісну систему взаємозалежних дослідницьких завдань.

3) Логічність – кожен наступний етап має бути обґрунтований результатами попереднього та сприяти досягненню загальної мети.

4) Комплексність – схема повинна відображати основні напрями дослідження та враховувати взаємозв'язок між теоретичними, експериментальними та практичними аспектами роботи.

5) Наочність – інформація має бути представлена у зрозумілій графічній формі, що забезпечує легкість сприйняття та розуміння структури дослідження.

6) Відповідність темі – зміст та деталізація схеми мають визначатися специфікою вибраної наукової проблеми, цілями та завданнями дослідження.

Структурно-логічну схему розробляють у формі графічної моделі, основними елементами якої є блоки і стрілки. У блоках вказують назви етапів, напрямів, методів чи окремих дослідницьких завдань, а стрілки демонструють послідовність їх виконання та логічний зв'язок між ними.

При оформленні схеми доцільно дотримуватися таких вимог:

- основні етапи дослідження розташовувати послідовно, переважно зверху донизу;

- використовувати прямокутники чи інші прості геометричні фігури для позначення окремих складових;

- поєднувати блоки стрілками, що вказують напрямок виконання дослідницьких завдань;

- групувати взаємопов'язані дослідницькі напрями в окремі блоки;

- забезпечувати чіткість, лаконічність та змістовність формулювань;

- дотримуватись єдиного стилю графічного оформлення та логічної структури;

- уникати надмірного деталізування, що ускладнює сприйняття загальної послідовності дослідження.

Важливо, щоб схема відображала як список запланованих робіт, так і логічний взаємозв'язок з-поміж них. Наприклад, результати теоретичного аналізу є основою визначення методології дослідження, результати експериментальних досліджень використовують для аналітичних розрахунків і обґрунтування запропонованих рішень, а узагальнення отриманих даних дозволяє сформулювати наукові висновки.

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. Скласти структурно-логічну схему власного дисертаційного дослідження.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під структурно-логічною схемою наукового дослідження?
2. Які основні етапи передбачає проведення наукового дослідження?
3. Як встановлюють логічний взаємозв'язок між окремими етапами дослідження?
4. Яких основних принципів необхідно дотримуватись при побудові структурно-логічної схеми?
5. Які графічні елементи використовують для побудови структурно-логічної схеми та яке їхнє призначення?
6. Які вимоги висувають до графічного оформлення структурно-логічної схеми?
7. Яке значення має структурно-логічна схема для планування та організування наукового дослідження?

Практичне заняття № 4
Оформлення розділів дисертаційного дослідження

Мета: навчитися оформлювати розділи дисертаційного дослідження.

Теоретичні відомості

Тема наукового дослідження має відображати його зміст, бути актуальною, коректною та зрозумілою. Допомогти у виборі теми можуть науковці та фахівці галузі, а також проведений огляд каталогів захищених дисертацій, наукових публікацій тощо. Під час обґрунтування актуальності теми необхідно коротко зазначити, чим обумовлений інтерес до теми та чому дослідження є важливим [2, 4, 5, 13].

Метою наукового дослідження є науковий результат, який має бути досягнутий внаслідок проведення досліджень. Під час формулювання мети дослідження рекомендується використовувати дієслова: розробити, обґрунтувати, удосконалити тощо [2].

Завдання досліджень – це перелік дій, які необхідно виконати для досягнення мети дослідження. На основі завдань досліджень формується зміст розділів наукової роботи. Під час формулювання завдань дослідження рекомендується використовувати дієслова: вивчити, визначити, довести, дослідити, обґрунтувати, оптимізувати, описати, розробити, розрахувати, систематизувати, удосконалити, змоделювати тощо [2].

Об'єктом дослідження є вибрані для вивчення процес чи явище, які зумовлюють проблемну ситуацію. У галузі харчових технологій об'єктом дослідження є технології, технологічні процеси виробництва та зберігання харчових продуктів, властивості, якісний та кількісний склад сировини й готової продукції, обладнання та системи управління технологічними процесами, якістю та безпечністю продукції тощо [2].

Предмет дослідження – це складова об'єкта дослідження, яку безпосередньо досліджують.

Методи досліджень – це способи пізнання об'єктивної дійсності, що передбачають визначену послідовність дій та операцій. Їх поділяють на загальнонаукові (теоретичні: аналіз та синтез, індукція та дедукція, аналогія та моделювання, системний аналіз тощо; емпіричні: експеримент, спостереження, опис, порівняння тощо) та спеціальні, які застосовуються у певній галузі науки. У галузі харчових технологій застосовуються хімічні, біохімічні, кваліметричні, органолептичні, мікробіологічні та фізичні методи досліджень.

Методика дослідження – це система правил використання методів дослідження, що містить способи і послідовність їх застосування та інтерпретації одержаних результатів.

Теоретичні дослідження передбачають інтерпретацію та узагальнення результатів опублікованих досліджень, встановлення загальних закономірностей для об'єкта, що досліджується. Також теоретичні дослідження передбачають розроблення робочої гіпотези та моделювання об'єкта дослідження.

Експериментальні дослідження проводяться з метою виявлення властивостей об'єкта дослідження та перевіряння справедливості робочої гіпотези.

Під час аналізу зібрана наукова інформація, факти, результати теоретичних та експериментальних досліджень піддаються глибокому вивченню, зіставленню і порівнянню. Інтерпретація результатів передбачає аналіз, синтез та оцінювання результатів досліджень, встановлення закономірностей на основі зібраних та отриманих даних, виявлення причинно-наслідкового зв'язку між явищами. На цьому етапі формуються висновки за результатами дослідження та визначається, чи була досягнута мета дослідження. Також визначаються наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, розробляються пропозиції для виробництва та обґрунтовуються напрями подальших досліджень.

Наукова новизна – це невідомі дотепер та отримані під час проведення теоретичних чи експериментальних наукових досліджень знання, які перевірені на практиці та підтверджені. До наукової новизни можна віднести: отримання унікальних результатів; створення моделі; пропозицію нестандартного рішення; використання відомих даних, рішень або їх комбінацій в інших умовах, що забезпечує нові результати.

Практичне значення – це зазначення практичної цінності результатів наукових дослідження та користі від їх упровадження у практичній діяльності.

Вимоги до оформлення розділів дисертаційного дослідження

Дисертацію друкують на одному боці аркуша білого паперу формату А4 (210х297 мм) через 1,5 міжрядкового інтервалу. Шрифт: Кегель – мітел (14 типографських пунктів).

Текст дисертації необхідно друкувати, залишаючи поля таких розмірів: ліве – не менше 20–25 мм, праве – не менше 10 мм, верхнє – не менше 20 мм, нижнє – не менше 20 мм.

Розділи дисертації можуть містити такі частини: підрозділи (нумерація – номер розділу, номер підрозділу через крапку (1.1)); пункти (номер розділу, порядковий номер підрозділу та номер пункту через крапку (1.1.1)); підпункти (перерахування номера розділу, підрозділу, пункту й підпункту через крапку (1.2.3.4)). Усі складові елементи розділу нумерують арабськими цифрами. Під час оформлення важливо орієнтуватися на логічний зміст матеріалу. Неправильно, коли підпунктів занадто багато й вони висвітлюють кожну нову думку. Водночас текст не повинен бути суцільним полотном, позбавленим структурованості.

Правила оформлення формул у дисертації допускають, що на кожну формулу є посилання з проставленням номера розділу й номера формули через крапку. Аналогічне правило поширюється на рисунки. Формулу відображають в новому рядку посередині, а нумерацію проставляють збоку праворуч у круглих дужках. Назву й номер зображення проставляють знизу рисунка або з правого боку від нього.

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. Сформулювати тему наукового дослідження та обґрунтувати її актуальність, сформулювати мету і завдання наукового дослідження, визначити

об’єкт і предмет наукового дослідження, скласти план проведення експериментальних досліджень. Вибрати або розробити методику проведення одного з експериментальних досліджень та провести експериментальне дослідження й проаналізувати його результати. Оформити виконане завдання у відповідності до вимог оформлення дисертаційного дослідження.

Контрольні запитання

1. Яким чином вибирають тему дисертаційного дослідження?
2. Яким чином визначають об’єкт та предмет наукового дослідження?
3. Як формують мету наукового дослідження?
4. Яким чином визначають завдання наукового дослідження?
5. Яким чином вибирають методи дослідження?
6. Що розуміють під науковою новизною та практичним значенням проведеного наукового дослідження?
7. Які вимоги до оформлення дисертаційної роботи?

Практичне заняття № 5
Методи експертного оцінювання

Мета: навчитися застосовувати методи експертного оцінювання.

Теоретичні відомості

Методи експертного оцінювання дозволяють використати знання фахівця чи групи фахівців певної галузі для оцінювання будь-чого в цій галузі. Ці методи ґрунтуються на опитуванні експертів щодо досліджуваного об'єкта. Поміж них найбільш поширений експертний метод, в основу якого покладено ранжування. **Ранжування** – це процедура впорядкування будь-яких об'єктів за зростанням або спаданням деякої властивості [2]. У харчових технологіях експертне оцінювання може використовуватися для визначення найбільш значущих факторів, що впливають на досліджуваний технологічний процес чи показник, а також для визначення значущості якісних і кількісних показників об'єкта дослідження (наприклад, фізико-хімічних, органолептичних) тощо. Однією із переваг експертного оцінювання є те, що немає потреби проводити досліди на об'єкті [11, 12, 15, 18]. Розглянемо методи експертного оцінювання.

Одночасне ранжування

Процедура одночасного ранжування містить етапи [2]:

- анкетування експертів (чисельність експертної групи 5–10 осіб) під час якого їм пропонується провести ранжування факторів (показників), які містяться у випадковому порядку в анкеті, за ступенем їх значущості, причому найважливіший фактор (показник) отримує найвищий ранг 1, а найменш значущий – найнижчий ранг; якщо, на думку експерта, кілька (два та більше) факторів (показників) є однаково значущими, тоді вони отримують однаковий ранг;
- статистичне оброблення анкет та визначення найбільш значущих факторів (показників);
- оцінювання узгодженості думок експертів.

Статистичне оброблення анкет експертів передбачає обчислення середнього значення суми рангів [2]:

$$T = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} t_i \,, \tag{5.1}$$

де T – середнє значення суми рангів; k – кількість факторів (показників); t_i – сума рангів i-го фактора (показника).

Відхилення суми рангів від середньої суми рангів [2]:

$$\Delta_i = t_i - T, \tag{5.2}$$

де Δ_i – відхилення суми рангів i-го фактора (показника) від середньої суми рангів.

Сума квадратів відхилень від середньої суми рангів [2]:

$$S = \sum_{i=1}^{k} \Delta_i^2 . \quad (5.3)$$

Узгодженість думок експертів перевіряється за коефіцієнтом конкордації:
- для незв'язаних рангів [2]:

$$W = \frac{12S}{l^2(k^3 - k)}, \quad (5.4)$$

- для зв'язаних рангів [2]:

$$W = \frac{12S}{l^2(k^3 - k) - l\sum_{j=1}^{l} R_j}, \quad (5.5)$$

$$R_j = \sum_{z=1}^{L} (a_{jz}^3 - a_{jz}), \quad (5.6)$$

де l – кількість залучених експертів; R_j – параметр, що враховує повторювання рангів у відповідях j-го експерта; L – кількість груп рангів, що повторюються в j-го експерта; a_{jz} – кількість повторень в z-й групі рангів у відповідях j-го експерта.

Якщо в будь-якого експерта ранги для факторів (показників) не повторюються, то вони називаються незв'язаними. Якщо ж в експерта ранги для факторів (показників) повторюються, тоді це зв'язані ранги [2].

Якщо коефіцієнт $W > 0{,}7$ – думки експертів достатньо узгоджені. Статистична значущість коефіцієнта конкордації W оцінюється шляхом перевіряння статистичних гіпотез [2]:

$$H_0: W = 0, \quad (5.7)$$

$$H_1: W \neq 0. \quad (5.8)$$

У випадку підтвердження нульової гіпотези H_0 думки експертів вважаються неузгодженими. Якщо нульова гіпотеза відхиляється, то приймається альтернативна гіпотеза H_1, що вказує на узгодженість думок. Критерієм перевіряння гіпотези H_0 є статистичний критерій Пірсона (χ^2-критерій) [2]:

$$\chi^2 = l(k-1)W. \quad (5.9)$$

Розраховане значення критерію χ^2 порівнюється із табличним χ_m^2 значенням, вибраним для рівня значущості $\alpha = 0{,}05$ та числа ступенів вільності $f = k - 1$. У випадку $\chi^2 > \chi_m^2$ гіпотеза H_0 відхиляється і думки фахівців вважаються узгодженими.

За результатами ранжування будується перевернута діаграма рангів факторів (показників). Уздовж осі ординат діаграми, яка спрямована вниз, відкладається максимальна можлива сума рангів $t_{max} = k \cdot l$, а після цього отримані суми рангів t_i для кожного із факторів (показників). Вздовж осі абсцис фактори (показники) розташовуються в порядку зменшення їх значущості, тобто зростання суми рангів.

Попарне ранжування

Процедура попарного ранжування містить етапи [2]:

- анкетування експертів, під час якого їм пропонується провести попарне порівняння факторів (показників) та визначити в кожній парі найбільш значущий фактор (показник); для анкетування формується таблиця, де в заголовках рядків та стовпців зазначають фактори (показники); якщо фактор (показник) *i*, що міститься у рядку, більш значущий, ніж фактор (показник) *j*, що міститься у стовпчику, то у комірці *ij* експерт має записати 1, в протилежному випадку експерт має записати 0; у комірках головної діагоналі таблиці – значення експерт не записує;

- після заповнення кожним експертом таблиці результати анкетування подають у загальній таблиці, де у кожній комірці *ij* записують число, що є сумою чисел відповідних комірок таблиць, які заповнювали експерти;

- підсумовування рангів в усіх рядках і стовпцях для визначення значущості факторів (показників); якщо порівнювати суми в рядках, то найбільш значущим фактором (показником) буде той, який має найбільше значення суми; якщо порівнювати суми в стовпцях, то найбільш значущим фактором (показником) буде той, який має найменше значення суми;

- оцінювання узгодженості думок експертів.

Узгодженість думок експертів визначають за значенням коефіцієнта *W* [2]:

$$W = \frac{Q}{Q_{\max}}. \tag{5.10}$$

Величину *Q* визначають за виразом [2]:

$$Q = \sum_{i=1,\, j=1}^{k} a_{ij}^2 - l \sum_{i=1,\, j=1}^{k} a_{ij} + C_l^2 \cdot C_k^2, \tag{5.11}$$

$$C_l^2 = \frac{l!}{2!(l-2)!}, \tag{5.12}$$

$$C_k^2 = \frac{k!}{2!(k-2)!}, \tag{5.13}$$

де a_{ij} – числа, які розташовані в комірках вище або нижче діагоналі підсумкової таблиці рангів; l – кількість залучених експертів; k – кількість факторів (показників).

Величину $Q_{\max}$ визначають за виразом:

$$Q_{\max} = \frac{l(l-1)k(k-1)}{4}. \tag{5.14}$$

Аналогічно як у випадку одночасного ранжування критерієм перевіряння нульової гіпотези H_0 є критерій Пірсона (χ^2-критерій):

$$\chi^2 = \frac{4}{l-2}\left(Q - 0{,}5 \cdot C_l^2 \cdot C_k^2 \cdot \frac{l-3}{l-2}\right). \tag{5.15}$$

Обчислене значення критерію χ^2 порівнюється із табличним χ_m^2 значенням, вибраним для рівня значущості $\alpha = 0{,}05$ та числа ступенів вільності f:

$$f = C_k^2 \cdot \frac{l(l-1)}{(l-2)^2}. \quad (5.16)$$

У випадку $\chi^2 > \chi_m^2$ гіпотеза H_0 відхиляється і думки фахівців вважаються узгодженими.

Порядок виконання практичного заняття

Завдання 1. Провести аналіз джерел науково-технічної інформації та визначити фактори (щонайменше п’ять), які чинять вплив на процес виробництва харчового продукту, який досліджуєте. Сформувати анкети для опитування експертів щодо впливовості цих факторів на процес виробництва продукту та провести опитування експертів (опитати щонайменше сім експертів). В анкетах зазначити, що не дозволяється надавати однакові ранги факторам. Опрацювати результати оцінювання експертами запропонованих факторів та визначити поміж них найбільш впливові на процес. Перевірити узгодженість думок експертів та побудувати діаграму рангів факторів.

Завдання 2. Запропонувати експертам також провести попарне ранжування факторів, що впливають на процес виробництва продукту, який досліджуєте. Визначити впливовість факторів, а також узгодженість думок експертів.

Контрольні запитання

1. У чому сутність експертного методу оцінювання?
2. Які основні вимоги висувають до експертів, залучених до оцінювання?
3. Які основні етапи проведення експертного оцінювання методом одночасного ранжування?
4. Які основні етапи проведення експертного оцінювання методом попарного ранжування?

Практичне заняття № 6
Метод SWOT-аналізу

Мета: навчитися застосовувати метод SWOT-аналізу.

Теоретичні відомості

В основу SWOT-аналізу покладено метод мозкового штурму. **SWOT-аналіз** – це метод стратегічного планування, що допомагає бізнесу визначити свої сильні і слабкі сторони, можливості та загрози, які пов'язані з конкуренцією чи плануванням проєкту [2, 3, 17].

SWOT – це абревіатура, яка розшифровують таким чином:

S (Strengths) – сильні сторони (переваги), характеристики бізнесу (продукту), які вигідно відрізняють його на фоні конкурентів (продуктів-аналогів);

W (Weaknesses) – слабкі сторони, які роблять бізнес (продукт) вразливим відносно інших гравців (продуктів-аналогів);

O (Opportunities) – можливості, елементи оточення, які бізнес (продукт) може використовуватиме для розвитку;

T (Threats) – загрози, елементи оточення, які можуть завдати шкоди бізнесу (продукт).

Ці складові поділяються на фактори зовнішнього та внутрішнього середовища. У першому випадку йдеться про характеристики бізнесу (продукту), на які він може вплинути. У другому – про фактори, які можна лише «обіграти» чи спробувати нейтралізувати. Ураховуючи усе зазначене формується SWOT-матриця (рис. 6.1) [2].



Рис. 6.1 – SWOT-матриця

Джерело: використано рисунок із джерела [2].

Серед основних завдань SWOT-аналізу – допомога бізнесу (розробнику чи виробнику продукту) з'ясувати та оцінити всі чинники, які впливають на прийняття рішень, а також визначити можливості розвитку (удосконалення продукту). Методологія SWOT передбачає спочатку виявлення сильних і слабких сторін бізнесу (продукту), а також загроз і можливостей, а після цього встановлюються ланцюги зв'язку між ними, які потім можуть бути використані для формування стратегії розвитку підприємства (удосконалення продукту) [2].

SWOT-аналіз проводять із залученням експертів з досліджуваного питання. Що більше точок зору на плюси, мінуси та навколишні фактори, то об'єктивнішою буде отримана оцінка. Кожен фактор, який включається в матрицю, має підтверджуватися даними чи конкретними цифрами. Не потрібно оцінювати бізнес (продукт) «в цілому», краще максимально конкретизувати на що спрямований аналіз. Під час аналізу необхідно враховувати те, як стан справ бачать потенційні клієнти та партнери. Оскільки те, що для вас видається перевагою, для них може бути незначним. Для цього необхідно провести низку глибинних інтерв'ю з клієнтами або споживачами, які обрали конкурентів, що дозволить побачити ситуацію ззовні. Під час аналізу необхідно сфокусуватися на головному [2].

Найбільш важливі фактори, які необхідно враховувати при удосконаленні або розробленні харчових продуктів, можна об'єднати у групи [2]:

- економічні фактори: вартість сировини, рентабельність виробництва, доступність продукту (ціна) для споживачів;
- маркетингові фактори: потреба у продукті, конкурентоспроможність продукту, перспективи розвитку ринку, інформація щодо продукту (реклама);
- соціальні фактори: підтримка концепції здорового харчування, забезпечення споживачів продуктами, що збагачені мікро- (вітаміни, мінерали, фітонутрієнти тощо) та макронутрієнтами (білки, жири, вуглеводи);
- технологічні фактори: складність виробництва, вихід продукту, можливість використання відходів, використання інноваційних інгредієнтів та корисних добавок, ступінь втрат корисних речовин при обробленні сировини;
- якісні фактори: фізико-хімічні та органолептичні показники продукту.

Далі проводиться оброблення результатів, що полягає у визначенні основної стратегії бізнесу (удосконалення продукту). Для цього показники кожного поля матриці зводяться в окрему матрицю SWOT-аналізу (таблиця 6.1) та зіставляються між собою. На кожному полі таблиці 6.1 (S-O; S-T; W-O; W-T) розглядаються всі можливі комбінації та виділяються ті, які впливають на рівень конкурентоспроможності бізнесу (продукту) та повинні бути враховані під час розроблення стратегії поведінки бізнесу (удосконалення продукту) [2].

Отже, на перетинах окремих складових груп факторів формують поля, які дозволяють запропонувати чотири **типи стратегій** [2]:

1. **S-O дії** є стратегіями зростання та передбачають заходи чи програми, які використовують сильні сторони продукту (бізнесу) для охоплення кожної з можливостей. Для визначення цих дій необхідно проаналізувати сильні сторони та можливості у складеній матриці SWOT. Розглядаючи кожну із можливостей,

необхідно запитувати: **Чи дозволять сильні сторони здобути переваги завдяки можливостям?**

Таблиця 6.1 – Зведена матриця SWOT-аналізу

Внутрішні фактори	**Фактори зовнішнього середовища**	
	Можливості (O)	**Загрози (T)**
	1. 2. 3. ….	1. 2. 3. …
Сильні сторони (S)	Поле **S-O дії** (сильні сторони/можливості)	Поле **S-T дії** (сильні сторони/загрози)
1. 2. 3. …	S1-O1; S1-O2; …. S2-O1; S2-O2; …	S1-T1; S1-T2; …. S2-T1; S2-T2; …
Слабкі сторони (W)	Поле **W-O дії** (слабкі сторони/можливості)	Поле **W-T дії** (слабкі сторони/загрози)
1. 2. 3. …	W1-O1; W1-O2; …. W2-O1; W2-O2; …	W1-T1; W1-T2; …. W2-T1; W2-T2; …

Джерело: використано таблицю з джерела [2].

2. **W-O дії** є стратегіями захисту та передбачають заходи або програми, які спрямовані на покращення, зміну або подолання слабких сторін для використання знайдених можливостей. Для визначення цих дій необхідно проаналізувати слабкі сторони та можливості у складеній матриці SWOT. Розглядаючи кожну із можливостей, необхідно запитувати: **Чи перешкоджають слабкі сторони використанню можливостей, і як подолати слабкі сторони за рахунок можливостей, що з'явилися?**

3. **S-T дії** є стратегіями захисту, що допомагають правильно використовувати сильні сторони бізнесу (продукту) для запобігання можливим загрозам. Для визначення цих дій необхідно проаналізувати сильні сторони та загрози. Розглядаючи кожну загрозу, необхідно запитувати: **Чи дозволить використання сильних сторін подолати або уникнути загрози?**

4. **W-T дії** є стратегіями захисту та передбачають заходи, які спрямовані на покращення та подолання слабких сторін продукту (бізнесу) для запобігання чи мінімізації ризиків загроз. Для визначення цих дій необхідно проаналізувати слабкі сторони та загрози. Розглядаючи кожну загрозу, необхідно запитувати: **Чи перешкоджають слабкі сторони уникнути загроз і чи можливо одночасно подолати загрози та позбутися слабкості?**

За результатами аналізу усіх чинників приймається рішення: посилити слабкі сторони бізнесу (продукту) завдяки наявним ресурсам чи відмовитися від ризикованого напряму розвитку бізнесу (удосконалення продукту) за рахунок зменшення потенційних зовнішніх загроз. Стратегія розвитку бізнеса (удосконалення продукту) має бути сфокусована на акумуляції сил і використанні можливостей, що дозволить уникнути загрози [2].

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. За допомогою методу SWOT-аналізу напрацювати стратегії удосконалення/розроблення інноваційного харчового продукту.

Контрольні запитання

1. У чому полягає техніка проведення мозкового штурму?
2. Категорії учасників та їх кількість під час мозкового штурму?
3. Типи проблем, які вирішуються методом мозкового штурмів?
4. Роль керівника (лідера) мозкового штурму?
5. Яким чином відбувається оцінювання ідей під час мозкового штурму?
6. Типи проблем, які вирішуються методом мозкового штурмів?
7. Методи, які засновані на принципі мозкового штурму?
8. Основні етапи багатоступінчастого мозкового штурму?
9. У чому полягає SWOT-аналіз?

Практичне заняття № 7
Перевірка статистичних гіпотез та кореляційний аналіз

Мета: навчитися перевіряти статистичні гіпотези та проводити кореляційний аналіз.

Теоретичні відомості

Метою статистичного оброблення експериментальних даних є представлення їх у формі, що зручна для аналізування, та виявлення певних закономірностей у процесах, стан яких відображають експериментальні дані [2]. **Статистична сукупність** – це сукупність об'єктів, які схожі в будь-якому відношенні, але водночас мають мінливі ознаки, що досліджуються [2]. **Мінливі ознаки** – це ознаки, що мають різні значення в окремих одиницях сукупності. Окремі значення мінливих ознак називають **варіантами**. Мінливі ознаки поділяються на два типи [2]:

- атрибутивні (якісні) – не виражаються кількісно;

- кількісні – поділяються на дискретні (перервні) та неперервні.

Уся множина однорідних за певною ознакою об'єктів називається **генеральною сукупністю**, а відібрана з неї за певними правилами частина об'єктів для спостереження – **вибірковою сукупністю**.

Якщо розташувати окремі одиниці досліджуваної сукупності (варіанти) у зростаючому або спадаючому порядку, то отримують **ранжований** (упорядкований) **ряд розподілу**. **Варіаційний ряд розподілу** – це упорядкована статистична сукупність, в якій значення варіант розташовані в ранжований ряд із зазначенням для кожного інтервалу (групи) відповідних частот [2]. **Частотою** називають чисельність групи варіаційного ряду, що може бути виражена в абсолютних величинах та у відносних величинах (**відносна частота**):

$$p_i = m_i/n, \tag{7.1}$$

де p_i – відносна частота i-ої групи варіаційного ряду; m_i – частота i-ої групи варіаційного ряду (кількість одиниць сукупності, що попали в i-ту групу); n – чисельність досліджуваної сукупності.

Як правило, варіаційні ряди розподілу зображають графічно у вигляді **гістограми** чи **полігону**. У випадку побудови інтервального варіаційного ряду розподілу за атрибутивною ознакою, кількість груп дорівнює кількості градацій ознаки. **Кількість груп** для побудови інтервального варіаційного ряду розподілу за кількісною ознакою обчислюється за виразом Стерджеса:

$$k = 1 + 3{,}322 \cdot \lg(n), \tag{7.2}$$

де k – кількість груп, на яку поділена досліджувана статистична сукупність; n – чисельність досліджуваної сукупності.

Величину інтервалу варіаційного ряду розподілу за кількісною ознакою обчислюють за виразом [2]:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}, \tag{7.3}$$

де h – величина інтервалу варіаційного ряду розподілу; $x_{\max}$, $x_{\min}$ – максимальне і мінімальне значення ознаки в статистичній сукупності, що досліджується.

Середня арифметична величина (проста) [2]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \tag{7.4}$$

де x_i – варіанта; n – кількість варіант.

Середня арифметична величина (зважена) [2]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_i m_i}{\sum_{i=1}^{k} m_i}, \tag{7.5}$$

де x_i – середнє значення i-го інтервалу; m_i – частота i-ої групи (інтервалу); k – кількість груп (інтервалів).

Середня квадратична величина (проста) [2]:

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n}}. \tag{7.6}$$

де x_i – варіанта; n – кількість варіант.

Середня квадратична величина (зважена) [2]:

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} x_i^2 m_i}{\sum_{i=1}^{k} m_i}}. \tag{7.7}$$

де x_i – середнє значення i-го інтервалу; m_i – частота i-ої групи (інтервалу); k – кількість груп (інтервалів).

Мода – це значення ознаки, яке має найбільшу частоту в статистичному ряду розподілу. У дискретних варіаційних рядах моду визначають за значенням варіанти, яка має найбільшу частоту, а в інтервальних варіаційних рядах за виразом:

$$Mo = x_0 + h\frac{m_{Mo} - m_{Mo-1}}{(m_{Mo} - m_{Mo-1}) + (m_{Mo} - m_{Mo+1})}, \tag{7.8}$$

де x_0 – нижня межа модального інтервалу; h – величина інтервалу; $m_{Mo\text{-}1}$ – частота інтервалу, що передує модальному; m_{Mo} – частота модального інтервалу; m_{Mo+1} – частота інтервалу, який наступний за модальним.

Медіана – це значення ознаки, що ділить ранжований ряд розподілу на дві однакові частини. Для інтервального варіаційного ряду її обчислюють за виразом:

$$Me = x_0 + h\frac{0{,}5\sum_{i=1}^{k} m_i - S_{Me-1}}{m_{Me}}, \qquad (7.9)$$

де x_0 – нижня межа медіанного інтервалу; h – величина інтервалу; m_i – частота i-го інтервалу; k – кількість інтервалів; m_{Me} – частота медіанного інтервалу; $S_{Me\text{-}1}$ – сума нагромаджених частот інтервалу, який передує медіанному.

Варіація ознаки – це відмінності в числових значеннях ознаки в одиниці сукупності. Варіацію ознаки характеризують: розмах варіації, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації тощо [2].

Розмах варіації (R) – це різниця між максимальним (x_{max}) і мінімальним (x_{min}) значенням ознаки [2]:

$$R = x_{max} - x_{min}. \qquad (7.10)$$

Дисперсія – це середній квадрат відхилень всіх значень ознаки від середньої величини. Дисперсію (просту) обчислюють за виразом [2]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}, \qquad (7.11)$$

де σ^2 – дисперсія; x_i – i-те значення ознаки; $\bar{x}$ – середня величина ознаки; n – кількість значень ознаки.

Дисперсію (зважену) обчислюють за виразом [2]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{k}(x_i - \bar{x})^2 m_i}{\sum_{i=1}^{k} m_i}, \qquad (7.12)$$

де σ^2 – дисперсія; x_i – середнє значення i-го інтервалу; m_i – частота i-ої групи (інтервалу); k – кількість груп (інтервалів); $\bar{x}$ – середня (зважена) величина ознаки.

Середнє квадратичне відхилення (стандартне відхилення) – це показник, який одержують шляхом добування квадратного кореня з дисперсії. Стандартне відхилення (просте) обчислюють за виразом [2]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}}, \qquad (7.13)$$

де σ – стандартне відхилення; x_i – i-те значення ознаки; $\bar{x}$ – середня величина ознаки; n – кількість значень ознаки.

Стандартне відхилення (зважене) обчислюють за виразом [2]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k}(x_i - \bar{x})^2 m_i}{\sum_{i=1}^{k} m_i}}, \qquad (7.14)$$

де σ – стандартне відхилення; x_i – середнє значення i-го інтервалу; m_i – частота i-ої групи (інтервалу); k – кількість груп (інтервалів); $\bar{x}$ – середня (зважена) величина ознаки.

Коефіцієнт варіації – це процентне відношення середнього квадратичного відхилення до середньої арифметичної:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% . \qquad (7.15)$$

Статистичною гіпотезою (H) називається припущення відносно параметрів або форми розподілу генеральної сукупності, яке перевіряється на основі даних вибіркового спостереження. Під час перевіряння статистичної гіпотези необхідно встановити, чи узгоджуються дані спостереження з висунутою гіпотезою, чи можливо відмінності між гіпотезою і результатами спостереження віднести до випадкових або ж ці відмінності викликані впливом яких-небудь систематично діючих причин [2]. Для кожного виду гіпотез розроблені спеціальні критерії, серед яких найбільш часто використовуються t-критерій нормального розподілу і розподілу Стьюдента, F-критерій Фішера-Снедекора, χ^2 (хі-квадрат) – розподілу Пірсона. Для кожного критерію складені спеціальні таблиці за якими знаходять табличне значення критерію (критичні точки), які відокремлюють критичну область від області допустимих значень. Знайдене табличне значення критерію порівнюють з його фактичним значенням. Якщо фактичне значення критерію, розраховане за даними вибірки, буде більше від табличного, то нульова гіпотеза відхиляється і приймається альтернативна гіпотеза.

Приклад. Перевірити гіпотезу про рівність середніх двох незалежних вибірок (при $n_1 \neq n_2$, $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$). Під час перевірки якості пшениці двох сортів (Подолянка і Смуглянка), що надійшла на борошномельне підприємство, за показником засміченості порівнювалися зразки масою 1 кг (таблиця 7.1). Необхідно визначити чи відрізняється істотно засміченість двох сортів пшениці. Для розв'язання задачі перевіримо гіпотезу щодо істотності відмінностей між двома середніми в генеральних сукупностях [2].

Таблиця 7.1 – Засміченість двох сортів пшениці

Сорт	Засміченість різних зразків пшениці, %					
	1	2	3	4	5	6
Подолянка	2,6	2,7	2,5	2,8	3,0	2,6
Смуглянка	2,7	2,5	2,6	2,6	-	-

Джерело: використано таблицю із джерела [2].

Розв'язування

1. За умовою задачі обидві вибірки взяті із нормально розподілених генеральних сукупностей з однаковою дисперсією. Вибірки незалежні. Чисельності вибірок не рівні ($n_1 \neq n_2$) [2].

2. Розрахуємо вибіркові середні за двома вибірками (засміченість):

а) для сорту Подолянка [2]:

$$\%_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_{1i}}{n_1} = \frac{16,2}{6} = 2,7\ \%; \tag{7.16}$$

б) для сорту Смуглянка [2]:

$$\%_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}}{n_2} = \frac{10,4}{4} = 2,6\ \%. \tag{7.17}$$

Різниця середніх [2]:

$$\varepsilon_{факт.} = \left|\%_1 - \%_2\right| = 2,7 - 2,6 = 0,1\ \%. \tag{7.18}$$

Істотність цієї різниці повинна бути оцінена.

3. Сформулюємо нульову і альтернативну гіпотези [2]:

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2\ ; \tag{7.19}$$

$$H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2\ . \tag{7.20}$$

За такого формулювання альтернативної гіпотези потрібно використовувати двосторонній критерій.

4. Рівень значущості приймаємо рівним $\alpha = 0,05$.

5. Як найбільш потужний критерій для перевірки висунутої нульової гіпотези візьмемо *t*-критерій Стьюдента.

6. Обчислимо скореговані за двома вибірками дисперсії. Для обчислення дисперсій використовуємо спрощену формулу розрахунку дисперсії:

а) для сорту Подолянка [2]:

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_{1i}^2 - n_1 \%_1^2}{n_1 - 1} = \tag{7.21}$$

$$= \frac{2,6^2 + 2,7^2 + 2,5^2 + 2,8^2 + 3,0^2 + 2,6^2 - 6 \cdot 2,7^2}{6-1} = 0,032\ ;$$

б) для сорту Смуглянка [2]:

$$S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}^2 - n_2 \%_2^2}{n_2 - 1} = \tag{7.22}$$

$$= \frac{2,7^2 + 2,5^2 + 2,6^2 + 2,6^2 - 4 \cdot 2,6^2}{4-1} = 0,006.$$

7. Розрахуємо загальну помилку двох вибіркових середніх з урахуванням нерівних чисельностей вибірок ($n_1 \neq n_2$) [2]:

$$\bar{\mu}_{1-2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_{1i}^2 - n_1 \bar{x}_1^2 + \sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}^2 - n_2 \bar{x}_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} \cdot \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}} = \tag{7.23}$$

$$= \sqrt{\frac{0,16 + 0,02}{(6-1) + (4-1)} \cdot \frac{6+4}{6 \cdot 4}} = 0,097\%.$$

8. Обчислимо фактичне значення *t*-критерій Стьюдента:

$$t_{факт.} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\bar{\mu}_{1-2}} = \frac{|2,7 - 2,6|}{0,097} = 1,03. \tag{7.24}$$

9. Встановимо табличне значення *t*-критерій Стьюдента при α = 0,05 і загальному числі ступенів свободи для двох вибірок:

$$k = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) = (6-1) + (4-1) = 8; \tag{7.25}$$

$$t_{0,05} = 2,31.$$

10. Співставимо фактичне та табличне значення *t*-критерій Стьюдента [2]:

$$t_{факт.} < t_{табл.};$$

$$1,03 < 2,31.$$

Оскільки $t_{факт.} < t_{табл.}$, то можна зробити висновок про те, що фактичні дані узгоджуються з висунутою нульовою гіпотезою. Тому H_0 приймається, тобто засміченість зерна у генеральних сукупностях істотно не відрізняється.

11. Такий самий висновок може бути отриманий і під час порівняння можливої граничної помилки двох вибірок з фактичною різницею середніх.

Можлива гранична помилка різниці середніх за двома вибірками [2]:

$$\varepsilon_{0,05} = t\bar{\mu}_{1-2} = 2,31 \cdot 0,097 = 0,224\%. \tag{7.26}$$

Порівняємо можливу граничну помилку різниці середніх з фактичною різницею середніх [2]:

$$\varepsilon_{0,05} > \varepsilon_{факт.}; \tag{7.27}$$

$$0,224 > 0,1.$$

Оскільки $\varepsilon_{0,05} > \varepsilon_{факт.}$, то нульова гіпотеза про рівність середніх у генеральних сукупностях приймається.

Під час експериментальних досліджень між змінними величинами зв'язок може бути функціональним, за якого кожному значенню однієї змінної (аргументу) відповідає одне значення іншої змінної (функції), та кореляційним (статистичний), за якого числовому значенню однієї змінної може відповідати декілька значень іншої змінної. Розрізняють прямолінійний і криволінійний, прямий і обернений, простий (визначення взаємозв'язків між двома змінними

величинами) і множинний (визначення взаємозв'язків між трьома змінними величинами і більше) кореляційні зв'язки [2].

За допомогою методу кореляційного аналізу вирішуються дві основні задачі:

1) визначення форми і параметрів рівняння зв'язку;

2) визначення тісноти зв'язку (коефіцієнт кореляції, індекс кореляції).

Найбільш важливим етапом кореляційного аналізу є вибір рівняння для вивчення зв'язку між змінними величинами. У випадку парної кореляції рівняння зв'язку можна обрати шляхом побудови графіка (кореляційного поля) чи складання кореляційної таблиці. Рівняння, що встановлює кількісний зв'язок між змінними величинами називається **рівнянням регресії** або **кореляційним рівнянням**. У випадку прямолінійної форми зв'язку кореляційне рівняння [2]:

$$\hat{y}_x = a + bx, \tag{7.28}$$

де $\hat{y}_x$ – вирівняні значення результативної ознаки (залежна змінна); x – значення факторної ознаки (незалежна змінна); a – значення $\hat{y}_x$ при $x = 0$; b – коефіцієнт регресії, який показує середню зміну результативної ознаки при зміні факторної ознаки на одиницю.

Якщо $b > 0$, то зв'язок прямий, якщо $b < 0$, то зв'язок зворотний, якщо $b = 0$, зв'язок відсутній.

Параметри рівняння a та b визначаються із системи рівнянь [2]:

$$\left.\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n} y_i &= an + b\sum_{i=1}^{n} x_i; \\ \sum_{i=1}^{n} y_i x_i &= a\sum_{i=1}^{n} x_i + b\sum_{i=1}^{n} x_i^2, \end{aligned}\right\} \tag{7.29}$$

де n – кількість дослідних результатів (точок).

У випадку криволінійного кореляційного зв'язку, наприклад, для параболи другого порядку $\hat{y}_x = a + bx + cx^2$, кореляційне рівняння матиме вигляд [2]:

$$\left.\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n} y_i &= an + b\sum_{i=1}^{n} x_i + c\sum_{i=1}^{n} x_i^2; \\ \sum_{i=1}^{n} y_i x_i &= a\sum_{i=1}^{n} x_i + b\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^3; \\ \sum_{i=1}^{n} y_i x_i^2 &= a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^4. \end{aligned}\right\} \tag{7.30}$$

Рівняння кореляційного зв'язку використовують для розрахунку теоретичної лінії регресії і очікуваних значень залежної змінної при відповідних значеннях фактора (факторів). Важливим є визначення ступеня тісноти зв'язку між змінними величинами, що характеризується коефіцієнтом кореляції. У випадку парної лінійної залежності тіснота зв'язку визначається за допомогою лінійного коефіцієнта кореляції [2]:

$$r = \frac{\overline{xy} - \overline{x} \cdot \overline{y}}{\sigma_x \sigma_y}, \qquad (7.31)$$

або

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \sum_{i=1}^{n} y_i \sum_{i=1}^{n} x_i}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]}}, \qquad (7.32)$$

де $\overline{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n}$; $\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$; $\overline{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n}$; $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n} - \overline{x}^2}$;

$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}{n} - \overline{y}^2}$.

Коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0 до ±1. Якщо коефіцієнт кореляції дорівнює нулю, то зв'язок відсутній, якщо одиниці, то зв'язок функціональний. У випадку $|r| \geq 0{,}7$ вважається, що кореляційний зв'язок міцний, у випадку $0{,}3 \leq |r| < 0{,}7$ – зв'язок є середнім, у випадку $|r| < 0{,}3$ – зв'язок вважається слабким. Знак при коефіцієнті кореляції вказує на напрямок зв'язку: "+" – прямий; "–" – зворотний. Квадрат коефіцієнта кореляції називається коефіцієнтом детермінації r^2. Він вказує, яка частка загальної варіації ознаки визначається фактором, що досліджується. У випадку нелінійного зв'язку між змінними величинами, коефіцієнт кореляції розраховується за формулою [2]:

$$r = \sqrt{\frac{\sigma^2_{факт.}}{\sigma^2_{заг.}}}, \qquad (7.33)$$

де $\sigma_{факт.}$, $\sigma_{заг.}$ – відповідно, факторна та загальна дисперсії.

Вираз (7.33) може бути застосована для визначення тісноти зв'язку за будь-якої форми зв'язку. У випадку параболічної залежності формула (7.33) буде [2]:

$$r = \sqrt{\frac{\sigma^2_{факт.}}{\sigma^2_{заг.}}} = \sqrt{\frac{a\sum_{i=1}^{n} y_i + b\sum_{i=1}^{n} y_i x_i + c\sum_{i=1}^{n} y_i x_i^2 - n\overline{y}^2}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - n\overline{y}^2}}. \qquad (7.34)$$

Розглянемо на прикладах визначення показників зв'язку при парній лінійній та криволінійній залежностях.

Приклад. Проведено дослідження впливу тривалості лущення ячменю на індекс лущення, результати дослідження представлені в таблиці 7.2. Потрібно провести кореляційно-регресійний аналіз зв'язку між тривалістю лущення та індексом лущення. Для характеристики цього зв'язку необхідно визначити:

форму зв'язку і рівняння зв'язку (для цього необхідно побудувати кореляційне поле, де x – незалежна змінна (тривалість лущення), y – залежна змінна (індекс лущення)); параметри рівняння регресії; тісноту зв'язку (коефіцієнти кореляції та детермінації) [2].

Таблиця 7.2 – Результати експериментального дослідження

x, с	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y, %	6,0	8,8	8,9	12,2	13,1	15,9	16,1	19,4	19,7	22,5

Джерело: використано таблицю із джерела [2].

Розв'язування

Для визначення форми зв'язку між індексом лущення (y) та тривалістю лущення (x) ячменю побудуємо у MathCAD кореляційне поле (рис. 7.1). На осі абсцис нанесемо значення тривалості лущення ячменю, а на осі ординат – індексу лущення. Аналіз графіка показує, що зв'язок наближається до прямолінійного і його можна виразити рівнянням прямої лінії:

$$\hat{y}_x = a + bx .$$

Розв'язок цього рівняння регресії покаже зміну індексу лущення ячменю від тривалості лущення $\hat{y}_x$.

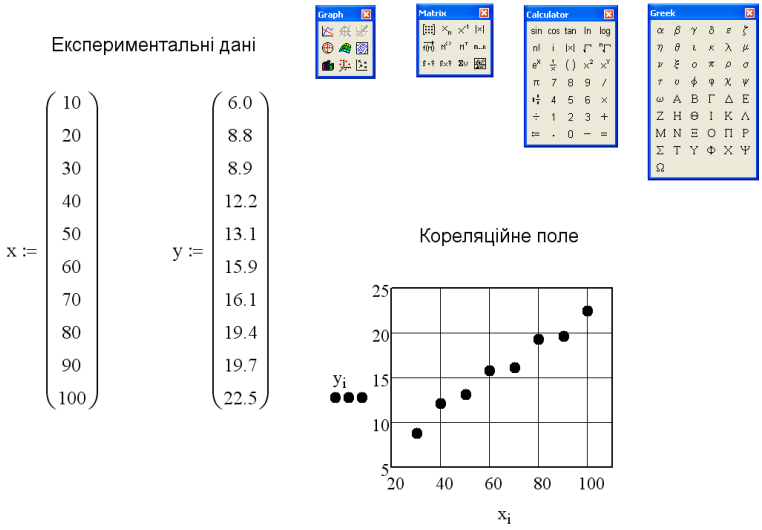


Рисунок 7.1 – Кореляційне поле

Параметри рівняння прямої лінії a та b знайдемо із системи рівнянь (7.29):

$$\left.\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n} y_i &= an + b\sum_{i=1}^{n} x_i; \\ \sum_{i=1}^{n} y_i x_i &= a\sum_{i=1}^{n} x_i + b\sum_{i=1}^{n} x_i^2. \end{aligned}\right\}$$

Усі необхідні дані для розв'язування системи рівнянь розрахуємо із використанням експериментальних даних у таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Розрахунок даних для визначення показників кореляційного зв'язку

№ п/п	Індекс лущення y, %	Тривалість лущення x, с	Розрахункові параметри			
			yx	y^2	x^2	Очікуване значення індексу лущення $\hat{y}_x$, %
1	6,0	10	60	36,00	100	6,3
2	8,8	20	176	77,44	400	8,1
3	8,9	30	267	79,21	900	9,8
4	12,2	40	488	148,84	1600	11,6
5	13,1	50	655	171,61	2500	13,4
6	15,9	60	954	252,81	3600	15,1
7	16,1	70	1127	259,21	4900	16,9
8	19,4	80	1552	376,36	6400	18,7
9	19,7	90	1773	388,09	8100	20,5
10	22,5	100	2250	506,25	10000	22,2
Разом	**142,6**	**550**	**9302**	**2295,82**	**38500**	**142,6**
У середньому	14,26	55,0	930,2	229,58	3850,0	14,26

Джерело: використано таблицю із джерела [2].

Одержані дані підставимо в систему рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} 142,6 &= a\cdot 10 + b\cdot 550; \\ 9302 &= a\cdot 550 + b\cdot 38500. \end{aligned}\right\}$$

Визначимо з першого рівняння системи a:

$$a = 14,26 - 55\cdot b\,.$$

Підставимо отриманий вираз у друге рівняння системи:

$$9302 = (14,26 - 55\cdot b)\cdot 550 + b\cdot 38500\,.$$

Розв'язування останнього рівняння дозволило отримати b = 0,177, тоді параметр a = 4,533. Отже, рівняння регресії (кореляційне рівняння), яке описує зв'язок між тривалістю лущення та індексом лущення матиме вигляд:

$$\hat{y}_x = 4,533 + 0,177\cdot x\,.$$

Приклад розв'язування системи лінійних рівнянь у MathCAD за допомогою блоку «Given-Find» представлено на рис. 7.2.

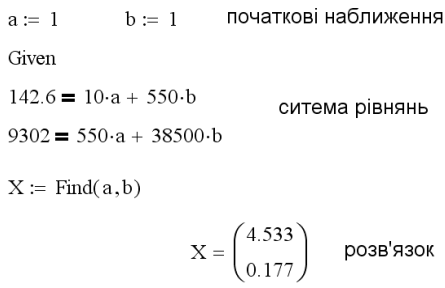


Рисунок 7.2 – Приклад розв'язування системи лінійних рівнянь у MathCAD

За допомогою рівняння регресії розрахуємо очікувані (розрахункові) значення індексу лущення $\hat{y}_x$ за різних значень тривалості лущення. Для цього замість x в отримане рівняння регресії підставимо експериментальні значення x з таблиці 7.2:

$$\hat{y}_{x=10} = 4{,}533 + 0{,}177 \cdot 10 = 6{,}3;$$

$$\hat{y}_{x=20} = 4{,}533 + 0{,}177 \cdot 20 = 8{,}1;$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\hat{y}_{x=100} = 4{,}533 + 0{,}177 \cdot 100 = 22{,}2.$$

Розраховані значення $\hat{y}_x$ записуються в останній стовпчик таблиці 7.3. За отриманим рівнянням регресії $\hat{y}_x$ побудуємо теоретичну лінію регресії на кореляційному полі (рис. 7.3).

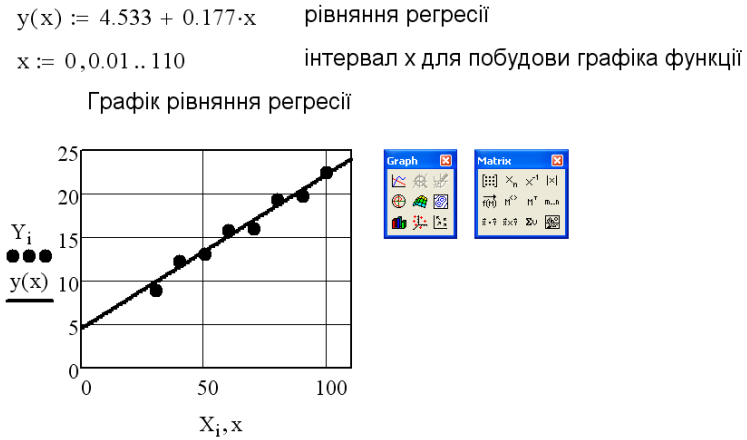


Рисунок 7.3 – Графік залежності індексу лущення від тривалості лущення ячменю

Перевіримо правильність проведених розрахунків шляхом співставлення сум фактичного індексу лущення з розрахунковим його значенням:

$$\sum_{i=1}^{n} y_i = \sum_{i=1}^{n} \%_x ;$$

$$142{,}6 = 142{,}6.$$

Визначимо тісноту зв'язку між тривалістю лущення ячменю та індексом лущення. Для цього розрахуємо лінійний коефіцієнт регресії за формулою (7.32) скориставшись даними таблиці 7.3:

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \sum_{i=1}^{n} y_i \sum_{i=1}^{n} x_i}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]}} =$$

$$= \frac{10 \cdot 9302 - 142{,}6 \cdot 550}{\sqrt{\left[10 \cdot 2295{,}82 - 142{,}6^2\right]\left[10 \cdot 38500 - 550^2\right]}} = 0{,}99.$$

Значення коефіцієнта кореляції показує, що між тривалістю лущення та індексом лущення існує міцний зв'язок. Обчислимо коефіцієнт детермінації:

$$r^2 = 0{,}99^2 = 0{,}98 .$$

Коефіцієнт детермінації показує, що 98% загальної варіації індексу лущення ячменю обумовлено тривалістю лущення, а решта 2% – іншими факторами, які не були враховані під час дослідження.

На рис. 7.4 представлені функції MathCAD, які призначені для розрахунку коефіцієнта кореляції та параметрів рівняння лінійної регресії.

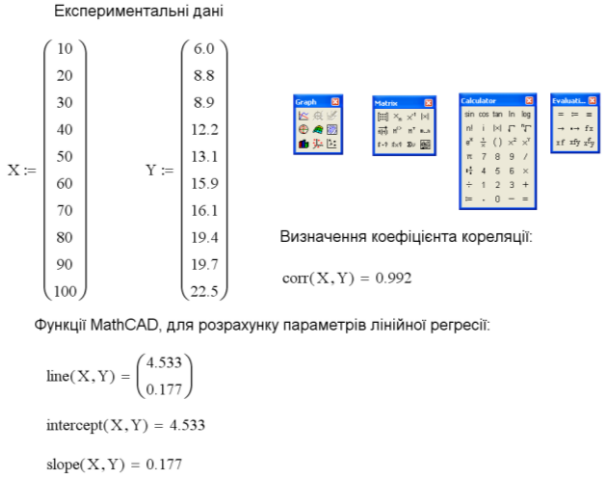


Рисунок 7.4 – Приклад застосування функцій MathCAD для розрахунку коефіцієнта кореляції та параметрів рівняння лінійної регресії

Порядок виконання практичного заняття

Завдання 1. У результаті зважування цукерок «Ліщина» сформована статистична сукупність (таблиця 7.4). Необхідно побудувати інтервальний варіаційний ряд розподілу цукерок за масою та зобразити його графічно, побудувавши гістограму та полігон. Обчислимо медіану та моду варіаційного ряду розподілу маси 50 цукерок «Ліщина» [2].

Таблиця 7.4 – Результати зважування цукерок «Ліщина»

Маса цукерок «Ліщина», г									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17,3	17,5	17,1	18,2	18,0	17,1	17,5	17,2	17,3	17,4
17,6	17,4	17,7	17,5	17,3	17,6	17,0	17,4	17,9	17,2
17,4	17,6	17,0	17,5	17,8	17,3	17,7	17,6	17,2	17,4
16,9	17,5	17,7	18,0	17,2	17,5	17,7	16,8	18,1	16,9
17,3	17,4	17,1	17,8	17,0	17,9	17,2	17,9	17,3	17,6

Джерело: використано таблицю з джерела [2].

Завдання 2. Перевірка гіпотези про рівність середніх двох незалежних вибірок (при $n_1 \neq n_2$, $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$). Для перевірки маси батонів хліба, що виробляються на двох лініях одного підприємства, порівнювалися зразки батонів відібрані з кожної лінії (таблиця 7.5). Необхідно визначити чи відрізняється істотно маса батонів хліба, що виробляється на різних лініях одного підприємства. Для розв'язання задачі перевіримо гіпотезу щодо істотності відмінностей між двома середніми в генеральних сукупностях [2].

Таблиця 7.5 – Маса батонів хліба

Технологічна лінія	Маса батона хліба, г					
	1	2	3	4	5	6
Лінія №1	805	804	801	800	800	797
Лінія №2	800	801	804	804	803	-

Джерело: використано таблицю з джерела [2].

Завдання 3. Провести кореляційно-регресійний аналіз зв'язку між масовою часткою x [%] овочевого пюре в рецептурі м'якого морозива та його збитістю y [%] за даними, які отримані в результаті експериментальних досліджень (таблиця 7.6). Побудувати графік отриманої залежність $y = f(x)$.

Таблиця 7.6 – Результати дослідження впливу масової частки x [%] овочевого пюре в рецептурі м'якого морозива на його збитість y [%]

x, %	3,1	5,0	7,2	10,0	12,0	13,0	15,9	17,0	19,0	20,0
y, %	54,0	56,0	60,0	63,0	64,0	67,0	70,0	70,0	73,0	74,0

Контрольні запитання

1. Що таке статистична гіпотеза?
2. Що необхідно встановити під час перевіряння статистичної гіпотези?
3. Які критерії використовуються для перевіряння статистичних гіпотез?
4. Яка послідовність перевіряння статистичної гіпотези?
5. Яким чином визначається медіана та мода варіаційного ряду розподілу?
6. Яким чином визначається середня квадратична величина (проста, зважена)?
7. Яким чином визначається дисперсія, коефіцієнт варіації та стандартне відхилення?
8. Що таке статистична та вибіркова сукупність?
9. Як у випадку прямолінійної форми зв’язку між величинами за кореляційним рівнянням визначити чи зв’язок прямий, чи зворотний?
10. Що характеризує коефіцієнт кореляції та як він визначається?
11. Що характеризує коефіцієнт детермінації та як він визначається?

Практичне заняття № 8
Підготовлення статті у наукове видання

Мета: навчитися оформлювати результати досліджень у формі статті.

Теоретичні відомості

Наукова стаття є одним із видів публікацій, у якій подані отримані автором наукові результати. Під статтею розуміють спеціальну публікацію невеликого обсягу, в якій відображуються погляди автора з визначених вузьких питань або результати обмежених досліджень. Особливість статті полягає в тому, що вона є найбільш оперативною інформацією про розвиток науки. Стаття виконує в науці кілька найважливіших функцій [14]:

- дослідницьку – є формою представлення наукових результатів, методології і методів їх одержання;
- презентаційну – є способом презентації пріоритету дослідника і його досліджень у науковому співтоваристві;
- оцінювальну – оцінює стан досліджень в аспекті проблеми статті;
- комунікаційну – є засобом спілкування дослідників цієї проблеми;
- атестаційну – забезпечує атестацію автора під час захисту дисертацій, виступаючи як спеціальна стаття.

Основні етапи роботи над статтею [14]:

1. Визначення теми, її аналіз, складання плану (тез).
2. Робота над першим варіантом статті на основі плану (тез).
3. Завершення роботи, аналіз тексту, удосконалення його, виправлення.
4. Роздуми, обмірковування, вирішення проблеми.
5. Послідовний виклад думки, доказове розмірковування, точний вибір слів і правильна побудова речень.
6. Критичне оцінювання результатів своєї роботи, пошук слабких місць, помилок та їх виправлення.

У процесі підготовлення статті необхідно дотримуватися вимог [14]:

1. Стаття – це не науковий звіт, її призначення в забезпеченні наукової комунікації, тому автор повинен уникати звітного стилю.
2. Усі спеціальні терміни мають бути обов’язково розкриті, щоб термінологічна позиція автора була однозначною.
3. Цитати і посилання мають використовуватися вкрай рідко і доречно.
4. Мова статті має бути науковою, а не публіцистичною.
5. Стаття не повинна бути занадто загальною і надмірно детальною.

Найбільш поширені недоліки наукових статей:

- назва статті не відображає основну ідею її змісту та є дуже громіздкою (перевищує 5–7 слів);
- відсутність у тексті статті якого-небудь наукового дослідження, зведення її у кращому випадку до опису ситуації;
- стаття не відповідає прийнятій структурі або спостерігається неструктурованість тексту, що є нескінченним потоком слів;

- відсутність у статті конкретних результатів викладу, теоретичних і практичних висновків;

- зловживання термінами без їхньої розшифровування або взагалі невикористання термінів.

Стаття повинна бути структурована (поділена на розділи з заголовками) і у загальному випадку повинна містити елементи [14]:

1) постановку проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;

2) аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття;

3) формулювання цілей статті (постановка завдання);

4) виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;

5) висновки за результатами дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Найбільш поширена **структура наукової статті** втілена в принципі IMRAD (Introduction, Methods, Results, and Discussion – міжнародний формат наукових статей), відповідно до якого кожна стаття має чітку структуру:

- Назва (Title);
- Анотація (Abstract);
- Ключові слова (Keywords);
- Вступ (Introduction);
- Методи (Methods);
- Результати (Results) та Обговорення (Discussion);
- Висновки (Conclusions);
- Література (References).

Назва – чітко окреслює головну ціль статті, починається з об'єкта дослідження, приваблює увагу читача.

Анотація – лаконічно відображає зміст тексту статті: цілі дослідження, основні аспекти, методи й результати. Має бути максимально інформативною та дещо провокуючою аби зацікавити читача.

Ключові слова – це перелік основних термінів, розглянутих у статті.

Вступ – окреслення ключової задачі, гіпотези. У вступі варто відповісти на питання: Що вже відомо про предмет дослідження? Що ми знаємо? Що ми розглянемо в конкретній статті?

Методи – опис конкретних методів і матеріалів, що використовувалися в процесі дослідження; опис усіх факторів, що вплинули на отримані результати.

Результати – ключовий розділ статті, наповнений конкретними тезами й аргументами. Таблиці, графіки, малюнки доречно розмістити саме тут.

Обговорення – порівняння отриманих результатів з результатами попередніх досліджень теми; значення проведеного дослідження; чи підтверджують результати гіпотезу; подальша перспектива вивчення теми.

Висновки – відповіді на питання: Чи вдалося досягти мети дослідження? Яке значення мають результати? Чи мають результати практичне застосування? Які питання лишилися без відповідей?

Завершують наукову стаття списком усіх **використаних джерел**.

Наукову стаття подають до редакції в завершеному вигляді відповідно до вимог конкретного журналу.

В Україні діють два затверджені Національні стандарти, що відповідають за оформлення бібліографічної інформації в науковій роботі:

1. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання. Це регламентуючий документ для оформлення бібліографічних списків, списків використаної літератури, списків літератури в наукових роботах тощо.

2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Цей стандарт є регламентуючим документом для оформлення бібліографічних посилань та бібліографічних списків посилань у наукових роботах.

На вибір можна використовувати Національний стандарт України або один із **стилів оформлення бібліографічної інформації**, які є загальновживаними у зарубіжній практиці оформлення наукових робіт:

Ванкувер стиль (Vancouver style), сфера застосування якого – медицина та фізичні науки;

Гарвардський стиль посилання (Harvard Referencing Style), сфера застосування – гуманітарні науки та суспільні науки;

Стиль Американського інституту фізики (AIP Style), сфера застосування – фізика;

Стиль Американського хімічного товариства (ACS style), сфера застосування – хімія та інші природничі науки;

Стиль Американської психологічної асоціації (APA style), сфера застосування – суспільні науки (соціологія, право, психологія, історія);

Стиль Асоціації сучасної мови (MLA Style), сфера застосування – гуманітарні науки (мистецтво, література, філософія, релігія тощо);

Стиль Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE style), сфера застосування – інженерія, електроніка, телекомунікації, інформатика та інформаційні технології;

Стиль Оксфордського університету для цитування юридичних документів (OSCOLA style), сфера застосування – юриспруденція;

Чикаго стиль: автор-дата (Chicago style: Author-Date), сфера застосування – фізичні, природничі та суспільні науки;

Чикаго стиль: виноски та бібліографія (Chicago style: Notes and Bibliography), сфера застосування – гуманітарні науки (мистецтво, література, філософія, релігія тощо).

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. Використовуючи результати власних досліджень підготувати наукову статтю відповідно до вимог фахового видання.

Контрольні запитання

1. Що таке наукова стаття і які функції в науці вона виконує?
2. Які основні етапи роботи над статтею?
3. Яка структура наукової статті?
4. Відповідно до яких вимог відбувається оформлення бібліографічної інформації в науковій роботі?
5. Які стилі оформлення бібліографічної інформації вам відомі?

Практичне заняття № 9
Підготовлення тез та презентація результатів досліджень

Мета: навчитися оформлювати результати досліджень у формі тез, постерів та презентувати результати досліджень.

Теоретичні відомості

Виступ на науковій конференції має на меті декілька цілей [14]:

- апробація основних ідей і результатів дослідження в науковому співтоваристві, що забезпечує попередню експертизу, перевірку цінності всього дослідження або його окремих частин, а дискусія дозволяє виявити слабкі й сильні сторони дослідження;
- виступ забезпечує закріплення за автором пріоритету в отриманих результатах;
- комунікаційна мета, що орієнтує дослідника на перетворення теми його дослідження в предмет наукової дискусії, що дозволяє одержати не тільки оцінку результатів з боку колег, а й у ході дискусії виявити нові ідеї і підходи.

Виступ на конференції є найбільш оперативним засобом введення результатів наукового дослідження в інформаційне поле науки. У виступі необхідно акцентувати увагу на основну ідею та найбільш важливі результати дослідження. Виступ не потрібно перевантажувати деталями. Якщо після виступу його починають активно обговорювати, тоді можна вважати, що поставлені цілі досягнуті. Більш розгорнутий виступ називається **доповіддю**. Доповіді бувають кількох типів [14]:

1. Звітна доповідь, у якій узагальнюються стан справ і хід роботи за якийсь проміжок часу, висвітлюються досягнення і недоліки.
2. Тематична доповідь, що присвячена розгорнутому викладові якої-небудь теми або проблеми.
3. Інформаційна доповідь, яка передбачає інформування присутніх щодо стану справ у якій-небудь галузі діяльності.

Матеріали конференції – це оформлені для публікації у вигляді статті результати наукових досліджень, які були представлені на конференції чи іншому науковому заході [2].

Тези доповіді – це опубліковані до початку конференції матеріали, які містять стислий виклад доповіді на конференції, для попереднього ознайомлення учасників із результатами наукових досліджень. Структура тез доповіді [2]:

- вступ та обґрунтування актуальності дослідження;
- стислий огляд стану питання;
- мета та завдання дослідження;
- опис методів дослідження;
- висвітлення результатів дослідження;
- висновки.

Реферат – це стислий виклад суті певної наукової проблеми, що містить інформацію з одного чи кількох джерел та висновки. Якщо реферат містить

матеріали, які ґрунтуються на результатах власних досліджень, то його називають автореферат. Зміст реферату залежить від змісту джерела інформації. Реферати поділяються на продуктивні, які містять творче чи критичне осмислення джерел інформації, та репродуктивні, які відтворюють зміст первинного тексту [2]. Структура реферату [2]:

- вступ;
- основна частина (як правило, кілька розділів);
- висновки;
- список використаних джерел.

Презентації на основі слайд-шоу можуть демонструватися на нарадах, виставках, семінарах, конференціях [14]. Вона передбачає демонстрацію слайдів з якісною графікою, текстами, діаграмами і таблицями і можливість зупинки та відновлення показу в ході дискусії і повернення на конкретний слайд у разі потреби. Презентації у форматі слайдів виконуються за допомогою встановлених на комп'ютері стандартних офісних пакетів. Мультимедіа презентації бувають двох типів: інтерактивні та неінтерактивні. Інтерактивні презентації мають систему навігації, тобто дозволяють користувачеві самому вибирати розділи і переглядати їх в довільному порядку. У неінтерактивних презентаціях користувач не може впливати на порядок перегляду презентації. Оскільки це слайд-шоу або рекламний ролик, які мають складну графіку, відеовставки, хороший звуковий супровід і після запуску програються цілком. Приклад програмного продукту для створення інтерактивної та неінтерактивної презентацій – Microsoft PowerPoint. Необхідно пам'ятати, що найкращий спосіб організації вашого матеріалу в логічно послідовну і переконливу презентацію – написати план. Це впорядковує ваші думки і дає вам можливість найкращим чином використовувати факти і переваги, які ви хочете представити аудиторії. Презентація та презентаційні матеріали (слайди, зразки, плакати тощо) – це не одне і те ж [14]. **Презентація** – це виступ у цілому, а слайди – лише його супровід, оформлені з використанням малюнків, графіків, діаграм, символів [14]. Слайд-шоу робить презентацію яскравою, образною, привертає увагу до деталей, що допомагає сприйняттю інформації. Рекомендований **порядок розташування слайдів** [14]:

1. Титульний лист, який містить тему (назву) виступу, посаду та ПІБ автора, іноді доповнюється його контактною інформацією.

2. Зміст презентації (на слайді представляється план презентації, що містить основні її розділи або питання, які будуть розглянуті в ході виступу).

3. Основна частина презентації, яка відображає основні думки та ідеї виступу і складається із слайдів із відповідними заголовками на кожному.

4. Резюме, висновки.

5. Заключний слайд зі словами подяки та контактною інформацією.

Стендова доповідь (постер) – це спосіб представлення результатів роботи в обмеженому просторі шляхом комбінації кольорового текстового та ілюстративного оформлення певної інформації, яка має на меті привернути увагу людей до обраної теми [3]. Стандартною структурою стендової доповіді для публічного виступу з результатами проведеного дослідження є назва, ім'я автора,

місце навчання або роботи, вступ, методи дослідження, проблема, виклад основних результатів, висновки та рекомендації.

Постер має бути представлений у паперовому вигляді на одному аркуші формату А1. Також можлива демонстрація постеру в електронному вигляді. Стендова доповідь повинна супроводжуватися поясненнями до кожної зі згаданих у постері тем. Доповідь має бути короткою (до 5 хв.) і змістовною, після завершення доповіді доцільно передбачити до 2 хв. на її обговорення.

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. Використовуючи результати власних досліджень підготувати тези та тематичну доповідь з презентаційними матеріалами відповідно до вимог та виступити з нею на науковому семінарі або перед групою, а також підготувати стендову доповідь (постер) відповідно до вимог та виступити з нею на науковому семінарі або перед групою.

Контрольні запитання

1. Яка мета виступу на науковій конференції?
2. Який рекомендований порядок розташування слайдів у презентаційному матеріалі доповіді?
3. Що передбачає стендова доповідь (постер)?
4. Яка структура тез доповіді?
5. Яка структура реферату?

Практичне заняття № 10
Застосування теорії подібності та аналізу розмірності під час моделювання технологічних процесів

Мета: навчитися застосовувати теорію подібності та аналіз розмірності для моделювання технологічних процесів.

Теоретичні відомості

В основі фізичного моделювання лежить **теорія подібності**. Необхідними умовами фізичного моделювання є геометрична подібність (подібність форми) та фізична подібність моделі та натури: у схожі моменти часу та схожих точках простору значення змінних величин, що характеризують явище для натури, мають бути пропорційні значенням тих самих величин для моделі. Наявність такої пропорційності дозволяє проводити перерахунок експериментальних результатів, що одержані для моделі, на натуру шляхом множення кожної з величин, що визначається, на постійний для всіх величин відповідної розмірності множник – **коефіцієнт подібності** [19].

Оскільки фізичні величини пов'язані певними відношеннями, які засновані на законах фізики, тоді обравши деякі з них за основні, можна коефіцієнти подібності для решти похідних величин подати через коефіцієнти подібності величин, що прийняті за основні. Безрозмірні комбінації фізичних величин називають критеріями подібності. Рівність усіх критеріїв подібності для моделі та натури є необхідною умовою фізичного моделювання. Число та вид критеріїв подібності для кожного явища, що моделюється, залежить від його природи та особливостей [19].

Приклад [19]. У лабораторних умовах досліджено процес осадження стальних кульок різного діаметра в олії. Необхідно представити результати дослідів у вигляді критеріальної залежності [19]:

$$\mathrm{Re} = c \cdot \mathrm{Ar}^{b}, \tag{10.1}$$

де Re – критерій Рейнольдса; Ar – критерій Архімеда; c, b – постійні коефіцієнти, числове значення яких визначають експериментальним шляхом.

Критерій Рейнольдса визначається за виразом [19]:

$$\mathrm{Re} = \frac{Vd\rho_c}{\eta_c}, \tag{10.2}$$

де V – швидкість осадження стальної кульки, м/с; d – діаметр стальної кульки, м; ρ_c – густина середовища в якому відбувається осадження кульки, кг/м^3; η_c – динамічний коефіцієнт в'язкості середовища в якому відбувається осадження кульки, Па·с.

Критерій Архімеда визначається за виразом [19]:

$$\mathrm{Ar} = \frac{gd^3\rho_c(\rho_м - \rho_c)}{\eta_c^2}, \tag{10.3}$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2; $\rho_м$ – густина кульки, кг/м^3.

У результаті проведення експериментальних досліджень із визначення швидкості V осадження сталевих кульок різного діаметра d у олії були отримані дані, що представлені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Результати експериментальних досліджень

Параметр	Значення параметра					
Діаметр кульки d, мм	4,0	4,9	5,2	5,8	6,0	7,1
Швидкість осадження кульки V, м/с	0,50	0,62	0,66	0,71	0,79	0,90

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Із довідкової літератури знаходимо числові значення фізичних параметрів: густина середовища в якому відбувається осадження кульки – ρ_c = 880 кг/м^3; густина матеріалу кульки – $\rho_м$ = 7850 кг/м^3; динамічний коефіцієнт в'язкості середовища в якому відбувається осадження кульки – η_c = 0,087 Па·с [19].

Використовуючи експериментальні дані з таблиці 10.1 за виразами (10.2) та (10.3), відповідно, розраховуємо значення критеріїв Рейнольдса Re та Архімеда Ar. Одержані в результаті розрахунку значення представлені в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2 – Результати розрахунку критеріїв Рейнольдса Re та Архімеда Ar

Критерій	Значення критерію					
Рейнольдса Re	20,23	30,73	34,71	41,65	47,95	64,63
Архімеда Ar	509	935	1118	1551	1717	2845

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Пролагорифмуємо рівняння (10.1) [19]:

$$\ln(\mathrm{Re}) = \ln(c) + b \cdot \ln(\mathrm{Ar}). \qquad (10.4)$$

Використовуючи дані таблиці 10.2, знайдемо значення логарифмів $\ln(\mathrm{Re}_i)$ та $\ln(\mathrm{Ar}_i)$. Одержані значення представлені в таблиці 10.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку $\ln(\mathrm{Re}_i)$ та $\ln(\mathrm{Ar}_i)$

Величина	Значення					
ln(Re)	3,007	3,425	3,547	3,729	3,870	4,169
ln(Ar)	6,232	6,841	7,019	7,347	7,448	7,953

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Рівняння (2.4) можна записати у вигляді рівняння прямої [19]:

$$y = a + b \cdot x, \qquad (10.5)$$

де $y = \ln(\mathrm{Re})$; $a = \ln(c)$; $x = \ln(\mathrm{Ar})$.

Знайдемо вільний член a та коефіцієнт b рівняння (10.5), що дозволить побудувати графічну залежність $\mathrm{Re} = f(\mathrm{Ar})$ в логарифмічних координатах. Нанесемо значення (точки) з таблиці 10.3 на графік (рис. 10.1). Для знаходження значень a та b можна скористатися кількома способами: способом вибраних точок, способом середніх та способом найменших квадратів. У прикладі використаємо спосіб найменших квадратів, згідно якого значення a та b розраховуються за формулами:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \sum_{i=1}^{n} y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}, \qquad (10.6)$$

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}, \qquad (10.7)$$

де $y_i = \ln(\mathrm{Re}_i)$; $x_i = \ln(\mathrm{Ar}_i)$; n – кількість значень експериментальних даних (значень критеріїв).

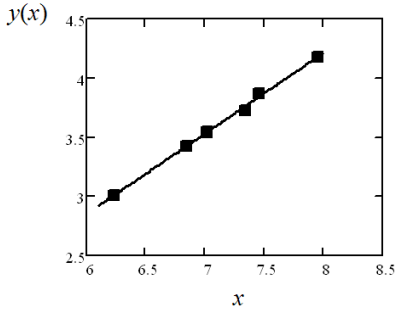


Рисунок 10.1 – Графічна залежність $\mathrm{Re} = f(\mathrm{Ar})$ в логарифмічних координатах
Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Оскільки у наведеному прикладі n = 6, після підстановки значень з таблиці 10.3 у формули (10.6) та (10.7), отримаємо $a = -1,222$ та $b = 0,679$. Після підстановки значень $a = -1,222$ та $b = 0,679$ у рівняння (10.5), матимемо $y = -1,222 + 0,679 \cdot x$.

Оскільки $a = \ln(c)$, тоді отримаємо:

$$c = e^a. \qquad (10.8)$$

Після підстановки значення $a = -1,222$ у вираз (10.8), матимемо $c = 0,295$.

Отже, після підстановки значень $b = 0,679$ та $c = 0,295$ у рівняння (10.1), отримаємо шукану критеріальну залежність:

$$\mathrm{Re}_t = 0,295 \cdot \mathrm{Ar}^{0,679}. \quad (10.9)$$

За залежністю (10.9) розрахуємо значення критерію Рейнольдса Re за значеннями критерію Архімеда Ar з таблиці 10.2, розраховані значення представлені в таблиці 10.4.

Визначимо відносну похибку δ, що показує, яка різниця між значеннями критерію Рейнольдса Re, що розраховані за дослідними даними, та значеннями цього критерію, що розраховані за критеріальною залежністю (10.9):

$$\delta = \frac{\left|\mathrm{Re}_t - \mathrm{Re}\right| \cdot 100}{\mathrm{Re}}. \quad (10.10)$$

Розраховані за формулою (10.10) значення відносної похибки δ представлені у таблиці 10.4. Оскільки найбільше значення відносної похибки $\delta = 3,9\,\%$, відповідно, одержане критеріальне рівняння (10.9) з достатньою точністю описує залежність між критеріями Рейнольдса Re та Архімеда Ar.

На рис. 10.2 представлено розв'язок даного прикладу засобами MathCAD.

Таблиця 10.4 – Результати розрахунку критерію Рейнольдса Re

Критерій	Значення					
Архімеда Ar (з таблиці 2.2)	509	935	1118	1551	1717	2845
Рейнольдса Re (з таблиці 2.2)	20,23	30,73	34,71	41,65	47,95	64,63
Рейнольдса Re (за залежністю 2.9)	20,31	30,69	34,65	43,28	46,37	65,34
Відносна похибка δ, %	0,39	0,13	0,17	3,90	3,30	1,09

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Під час моделювання процесів, що залежать від великої кількості параметрів, використовують серед інших і **метод аналізу розмірності**. Особливо широко цей метод використовується для опису процесів, що малодосліджені. У таких випадках розглядається процес, визначаються фактори, які на нього впливають, а після цього процес описується математичною залежністю між факторами у загальному вигляді, що є функцією шуканої величини від інших величини, які на неї впливають, тобто $P = f(a,b,c,d,....)$ [19].

В основі теорії розмірності лежить поняття про розмірність фізичних величин, що характеризують процес, який досліджується. При дослідженні більшості процесів харчових виробництв, як правило, достатньо мати три основні одиниці вимірювання: M − символ одиниці маси, L − символ одиниці довжини; T − символ одиниці часу. Усі решта одиниць виражаються через три основних одиниці. Залежність одиниці вимірювання похідної величини від одиниць

вимірювання основних величин може бути подана у вигляді формули, яка має назву формули розмірності. Цю формулу можна розглядати як стисле визначення та характеристику фізичної природи похідної величини [19].

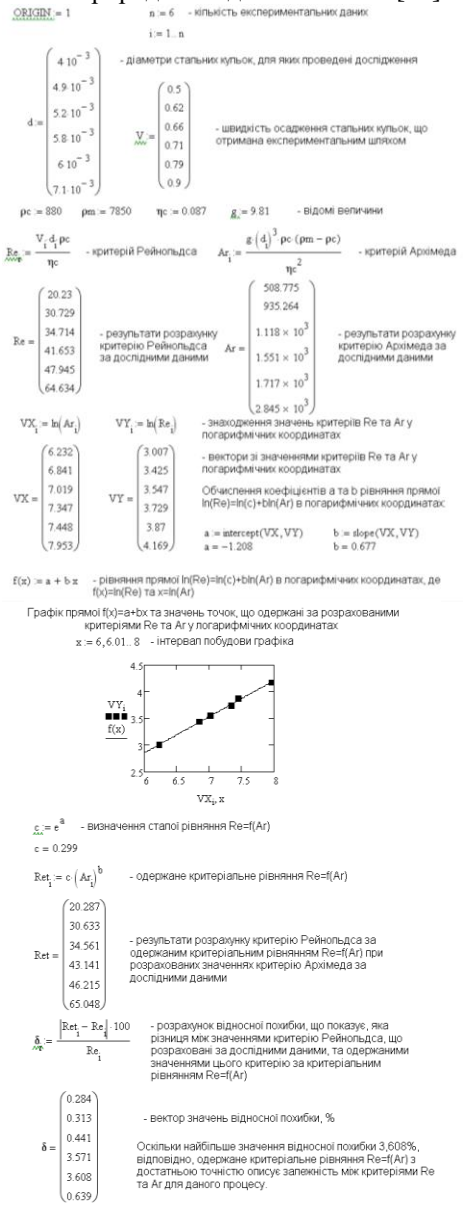


Рисунок 10.2 – Розв’язок задачі засобами MathCAD

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Приклад [19]. Під час дослідження течії рідини у трубі встановлено, що на перепад тиску ΔP у ній впливають діаметр d [м] і довжина l [м] труби, густина ρ [кг/м^3], в'язкість η [Па·с] і швидкість V [м/с] руху рідини, тобто:

$$\Delta P = f(d, l, \rho, \eta, V). \tag{10.11}$$

Скласти таке рівняння, зокрема у критеріальній формі, можна, якщо скористатися методом аналізу розмірності. До рівняння входять шість величин, які мають розмірності:

$$\Delta P = [\text{Па}] = [\text{Н/м}^2] = [\text{кг/(м}\cdot\text{с}^2)] = [M^1L^{-1}T^{-2}], \tag{10.12}$$

$$d = [\text{м}] = [M^0L^1T^0], \tag{10.13}$$

$$l = [\text{м}] = [M^0L^1T^0], \tag{10.14}$$

$$\rho = [\text{кг/м}^3] = [M^1L^{-3}T^0], \tag{10.15}$$

$$\eta = [\text{Па}\cdot\text{с}] = [\text{Н}\cdot\text{с/м}^2] = [\text{кг/(м}\cdot\text{с)}] = [M^1L^{-1}T^{-1}], \tag{10.16}$$

$$V = [\text{м/с}] = [M^0L^1T^{-1}]. \tag{10.17}$$

Представимо загальну функціональну залежність у вигляді степеневої функції:

$$\Delta P = A\cdot d^a\cdot l^b\cdot\rho^c\cdot\eta^e\cdot V^k, \tag{10.18}$$

де A, a, b, c, e, k – сталі, що визначаються експериментальним шляхом.

Замінимо величини, що входять до рівняння (10.18), на формули розмірності цих величин (оскільки стала A має розмірність $[M^0L^0T^0]$, відповідно, її не включаємо у формулу):

$$[M^1L^{-1}T^{-2}] = [M^0L^1T^0]^a\cdot[M^0L^1T^0]^b\cdot[M^1L^{-3}T^0]^c\cdot[M^1L^{-1}T^{-1}]^e\cdot[M^0L^1T^{-1}]^k. \tag{10.19}$$

Після перетворень у формулі (2.19), отримаємо:

$$[M^1L^{-1}T^{-2}] = [M^{c+e}L^{a+b-3c-e+k}T^{-e-k}]. \tag{10.20}$$

Прирівняємо показники степенів при однакових символах одиниць розмірності:

$$\left.\begin{aligned} 1 &= c+e;\\ -1 &= a+b-3c-e+k;\\ -2 &= -e-k. \end{aligned}\right\} \tag{10.11}$$

Оскільки система (10.21) не може бути розв'язана, так як у трьох рівняннях міститься п'ять невідомих, тому виразимо усі невідомі величини, наприклад, через b та e. Із першого рівняння системи (10.21) отримаємо $c = 1-e$, а із третього рівняння системи (10.21) отримаємо $k = 2-e$. Після підстановки $c = 1-e$ та $k = 2-e$ у друге рівняння системи (2.21), здійснивши перетворення, матимемо $a = -b-e$. Значення a, c та k підставимо у рівняння (10.18):

$$\Delta P = A\cdot d^{-b-e}\cdot l^b\cdot\rho^{1-e}\cdot\eta^e\cdot V^{2-e}. \tag{10.22}$$

Згрупуємо величини за показниками степенів і отримаємо рівняння:

$$\Delta P = A \cdot \frac{1}{d^b d^e} \cdot l^b \cdot \frac{\rho}{\rho^e} \cdot \eta^e \cdot \frac{V^2}{V^e} = A \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^b \cdot \left(\frac{\eta}{d\rho V}\right)^e \cdot \rho V^2 \qquad (10.23)$$

або

$$\frac{\Delta P}{\rho V^2} = A \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^b \cdot \left(\frac{\eta}{d\rho V}\right)^e . \qquad (10.24)$$

Рівняння (10.24) є критеріальним рівнянням, яке описує потік рідини у трубі. До рівняння (10.24) входять три критерії гідродинамічної подібності:

- критерій Ейлера: $\mathrm{Eu} = \frac{\Delta P}{\rho V^2}$;

- критерій Рейнольдса: $\mathrm{Re} = \frac{d\rho V}{\eta}$;

- параметричний критерій геометричної подібності: $\Gamma = \frac{l}{d}$.

Отже, функціональна залежність (10.24) є критеріальним рівнянням:

$$Eu = A \cdot \Gamma^b \cdot \mathrm{Re}^{-e} . \qquad (10.25)$$

Порядок виконання практичного заняття

Завдання 1. У лабораторних умовах досліджено процес осадження стальних кульок різного діаметра d [мм] в олії. У результаті досліджень встановлена швидкість V [м/с] осадження кульок. Необхідно представити результати дослідів у вигляді критеріальної залежності $\mathrm{Re} = c \cdot \mathrm{Ar}^b$ (де Re – критерій Рейнольдса; Ar – критерій Архімеда).

Також відомі: густина середовища в якому відбувається осадження кульки – ρ_c [кг/м^3]; густина матеріалу кульки – $\rho_м$ [кг/м^3]; динамічний коефіцієнт в'язкості середовища в якому відбувається осадження кульки – η_c [Па·с]. Усі дані для розрахунків вибираються згідно варіанту у таблиці 10.5.

1. Здійснити необхідні розрахунки для встановлення критеріальної залежності $\mathrm{Re} = c \cdot \mathrm{Ar}^b$ аналітичним способом.

2. Здійснити необхідні розрахунки для встановлення критеріальної залежності $\mathrm{Re} = c \cdot \mathrm{Ar}^b$ засобами MathCAD.

3. Порівняти значення критерію Рейнольдса Re, що отримані у різний спосіб (порівняти відносні похибки δ) та визначити який із двох способів (аналітичний чи з використанням засобів MathCAD) більш точний.

Завдання 2. Під час дослідження процесу осадження стальної кульки в олії було встановлено, що на швидкість V [м/с] осадження кульки впливають її діаметр d [м], густина ρ_c [кг/м^3] середовища в якому відбувається осадження кульки, різниця $\Delta\rho$ [кг/м^3] між густиною матеріалу кульки та густиною середовища, динамічний коефіцієнт в'язкості η_c [Па·с] середовища в якому відбувається осадження кульки та прискорення вільного падіння g [м/с^2].

Отримати математичну модель у вигляді степеневої функції $V = f(d, \Delta\rho, \rho_c, \eta_c, g)$ для розрахунку швидкості осадження кульки.

Функціональну залежність $V = f(d, \Delta\rho, \rho_c, \eta_c, g)$ представити у вигляді степеневої функції $V = A \cdot d^a \cdot \Delta\rho^b \cdot \rho_c^c \cdot \eta_c^d \cdot g^e$ (де A, a, b, c, d, e – сталі, що визначаються експериментальним шляхом) та під час складання залежності виразити сталі в степенях через сталі b та e. Також необхідно представити степеневу залежність у вигляді критеріального рівняння $\mathrm{Re} = f(\mathrm{Ar})$ (де Re – критерій Рейнольдса; Ar – критерій Архімеда). Критерії Рейнольдса та Архімеда:

$$\mathrm{Re} = \frac{Vd\rho_c}{\eta_c},$$

$$\mathrm{Ar} = \frac{gd^3\rho_c\Delta\rho}{\eta_c^2}.$$

Розрахувати значення швидкості V та критерію Рейнольдса Re за одержаними залежностями, значення сталих та параметрів для розрахунку вибирають згідно варіанту у таблиці 10.6.

Таблиця 10.5 – Завдання 1

Варіант	Параметри				
	d, мм	V, м/с	ρ_c, кг/м^3	$\rho_м$, кг/м^3	η_c, Па·с
1	4,1; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5	0,53; 0,58; 0,63; 0,69; 0,74; 0,78	810	7800	0,087
2	3,2; 3,6; 4,1; 4,6; 5,1; 5,6	0,41; 0,47; 0,54; 0,61; 0,69; 0,76	840	7890	0,081
3	5,3; 5,8; 6,3; 6,8; 7,3; 7,8	0,64; 0,70; 0,78; 0,84; 0,92; 0,99	890	7810	0,089
4	2,6; 3,1; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0	0,21; 0,28; 0,33; 0,41; 0,48; 0,56	900	7850	0,083
5	7,1; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5	0,82; 0,93; 1,04; 1,12; 1,24; 1,36	820	7870	0,085

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Таблиця 10.6 – Завдання 2

Варіант	Параметри та сталі						
	d , м	ρ_c , кг/м^3	$\Delta\rho$, кг/м^3	η_c , Па·с	A	b	e
1	0,005	830	6900	0,081	0,7	0,02	0,8
2	0,012	860	6990	0,089	0,5	0,03	0,6
3	0,007	870	7020	0,085	0,8	0,01	0,6
4	0,009	910	6930	0,083	0,9	0,03	0,6
5	0,004	880	7000	0,087	0,7	0,03	0,9

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Контрольні запитання

1. За якою залежністю визначається критерій Рейнольдса Re?
2. За якою залежністю визначається критерій Архімеда Ar?
3. Яким чином здійснюється побудова рівнянь у логарифмічних координатах?
4. Які способи використовуються для знаходження значень вільного члена *a* та коефіцієнта *b* для рівняння прямої?
5. У якому випадку для опису процесів доцільно використовувати теорію розмірності?
6. Що таке формула розмірності?
7. Які три основні одиниці вимірювання застосовуються у галузевому машинобудуванні?

Практичне заняття № 11
Статистичне моделювання

Мета: навчитися використовувати метод статистичного моделювання.

Теоретичні відомості

Статистичне моделювання – один з методів отримання характеристик технологічної системи (оригіналу), що моделюється, суть якого полягає в побудові моделюючого алгоритму, що імітує поведінку, взаємодію елементів технологічної системи та вплив випадкових дій зовнішнього середовища [19].

У результаті статистичного моделювання отримують серію значень шуканих величин та функцій, статистичний обробка яких дозволяє отримати відомості про поведінку реального об'єкта чи системи в довільний момент часу. Теоретичною основою статистичного моделювання є теорія ймовірності та математична статистика.

Теорія ймовірності вивчає закономірності випадкових явищ та дозволяє аналітично визначити ймовірність одних подій через ймовірність інших, закони розподілу та числові характеристики одних величин через закони та характеристики інших [9, 10, 19].

До предмета математичної статистики відносяться реєстрація, опис та аналіз експериментальних даних, що отримані під час спостереження. Задачі математичної статистики полягають у визначенні законів розподілу випадкових величин, перевірці правдоподібності гіпотез, знаходженні невідомих параметрів законів розподілу.

Закони розподілу можуть бути задані таблицями (рядами), графічно (гістограми) та аналітично – в вигляді функцій розподілу (інтегральний закон розподілу) та функцій щільності ймовірностей (диференціальний закон розподілу) [19].

Приклад [19]. Встановити закон випадкового розподілу маси (г) грейпфрутів, які закупили для виробництва солодощів: 348, 354, 243, 458, 477, 574, 255, 541, 378, 85, 399, 595, 688, 216, 433, 608, 496, 734, 438, 855.

Якщо число різних значень дослідних даних більше 15…20, то під час групування усі ці данні доцільно зводити в певне число розрядів, приймаючи ширину розряду однаковою. Тоді побудову таблиці розподілу проводять в наступній послідовності:

- знаходять найбільше (x_{max}) та найменше (x_{min}) значення випадкової величини, за якими обчислюють розмах зміни значень R:

$$R = x_{max} - x_{min}; \tag{11.1}$$

- визначають (задають) число розрядів (інтервалів) k, приймаючи його непарним (при загальній кількості вимірів $n < 100$ можна прийняти $k = 7$);

- визначають ширину розряду (для спрощення отримане значення заокруглюють):

$$\delta = R / k; \tag{11.2}$$

- встановлюють межі розрядів та підраховують число вимірів в кожному розряді (якщо значення знаходиться на межі розряду, тоді його необхідно віднести до одного з розрядів) (таблиця 11.1);

- визначають ймовірність для кожного розряду за виразом (таблиця 11.1):

$$p_i = m_i / n, \tag{11.3}$$

де m_i – число значень x_i в i-му розряді; n – загальне число всіх дослідних даних.

Таблиця 11.1 – Ймовірності попадання дослідних значень у розряд

Інтер-вал	85-195	195-305	305-415	415-525	525-635	635-745	745-855
m_i	1	3	4	5	4	2	1
p_i	0,05	0,15	0,20	0,25	0,20	0,10	0,05

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Графічною формою представлення випадкових величин, зведених в розряди, є гістограми та полігони, які будуються в наступній послідовності [19]:

- визначається величина ординати $y_i = p_i / \delta$;

- в системі координат $y_i = f(x)$ на ширині розряду δ відкладаються величини y_i як висоти та будуються прямокутники, таким чином, площа прямокутника над інтервалом дорівнює частоті, а повна площа гістограми дорівнює одиниці;

- приблизно те саме, що і гістограма показує і інший графік, який називається полігоном; він будується в тій самій системі координат, але за віссю абсцис відкладається середнє значення інтервалу, тому він нагадує многокутник розподілу.

Випадкові величини і статистичний розподіл оцінюються рядом числових характеристик: математичне сподівання, дисперсія, середнє квадратичне відхилення.

Математичне сподівання випадкової величини – це сума добутків усіх можливих значень випадкової величини на їх ймовірність (для статистичного розподілу аналогією математичного сподівання є середнє арифметичне або середнє статистичне випадкової величини) [19]:

$$M[x] = \sum_{i=1}^{n} x_i p_i \ . \tag{11.4}$$

Дисперсія характеризує розсіювання випадкової величини біля її математичного сподівання [19]:

$$D[x] = M[x^2] - M^2[x], \tag{11.5}$$

де $M[x^2] = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 p_i$.

Для наочної характеристики розсіювання краще користуватися середнім квадратичним відхиленням або стандартом, що має таку саму розмірність, що й випадкова величина, і дорівнює кореню квадратному від дисперсії [19]:

$$\sigma[x] = \sqrt{D[x]}\,. \tag{11.6}$$

Припустимо, що проміжки часу безвідмовної роботи підшипникових вузлів розподілено за нормальним законом з параметрами $M[x]$ та $\sigma[x]$ [19]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}\,. \tag{11.7}$$

Теоретичне значення ймовірності попадання випадкової величини на задану ділянку визначається за формулою [19]:

$$p_m(\alpha < x < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x)dx = \Phi\left(\frac{\beta - M}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - M}{\sigma}\right), \tag{11.8}$$

де Φ – функція Лапласа.

Дані, отримані в результаті розрахунку за формулою (3.8), представлені в таблиці 11.2.

Таблиця 11.2 – Розрахункові дані

Інтер-вал	85-195	195-305	305-415	415-525	525-635	635-745	745-855
m_i	1	3	4	5	4	2	1
p_i	0,05	0,15	0,20	0,25	0,20	0,10	0,05
p_{mi}	0,04	0,12	0,22	0,26	0,20	0,10	0,03

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Порівнюючи значення p_i та p_{mi}, переконуємося в тому, що заданий статистичний розподіл підпорядковується нормальному закону.

За критерієм Пірсона (хі-квадрат-критерій) перевіряємо, чи вірна гіпотеза щодо розподілу за нормальним законом. Розрахункове значення критерію Пірсона [19]:

$$\chi_p^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}\,, \tag{11.9}$$

де k – кількість інтервалів.

Табличне значення критерію Пірсона χ_m^2 визначається при рівні значущості α та числі ступенів вільності $f = k - r - 1$ (r =2 – число параметрів (M та σ)).

Гіпотеза щодо нормальності розподілу приймається, якщо виконується умова [19]:

$$\chi_p^2 < \chi_m^2\,. \tag{11.10}$$

На рис. 11.1 наведено приклад проведення статистичного моделювання за допомогою системи MathCAD.

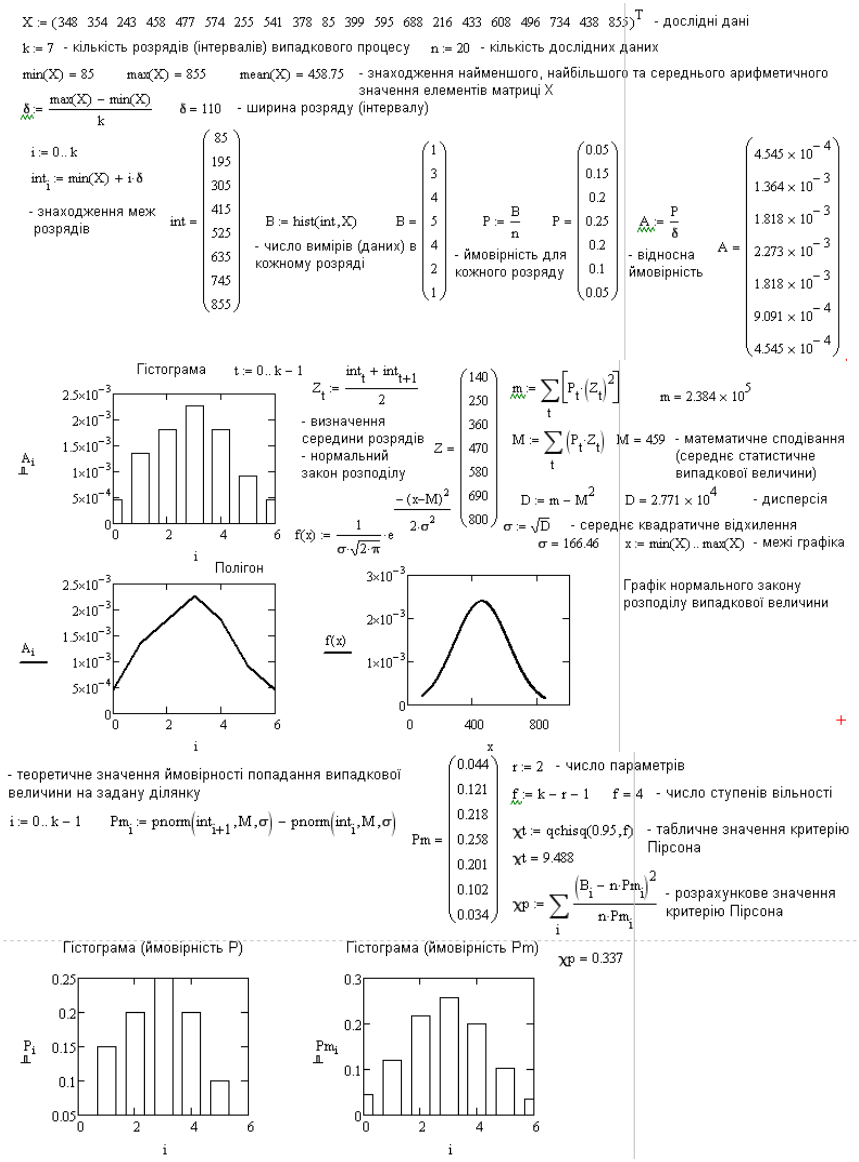


Рисунок 11.1 – Приклад статистичного моделювання в системі MathCAD [1]
Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Примітка. Пояснення функцій системи MathCAD, що використовуються в прикладі [19]:

min(*X*) – повертає найменший елемент матриці *X*;

max(*X*) – повертає найбільший елемент матриці *X*;

mean(*X*) – середнє арифметичне значення елементів матриці *X*;

hist(int,*X*) – повертає вектор з числом точок з *X*, які попали в відповідний інтервал з межами, що задані вектором int (призначений для побудови гістограм);

pnorm(*x,M,* σ) – повертає значення в точці x функції нормального розподілу з середнім значенням M та стандартним відхиленням σ ;

qchisq(1- α **,** f**)** – повертає квантилі зворотного хі-квадрат-розподілу (α – рівень значущості, f – число ступенів вільності).

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. Встановити закон випадкового розподілу маси (г) грейпфрутів, які закупили для виробництва крафтових солодощів. Завдання виконують відповідно до варіанта згідно з таблицею 11.3.

Додаток В

Таблиця В.1 – Завдання до практичного заняття № 3

Варіант	Маса грейпфрутів, г
1	540, 559, 440, 663, 681, 770, 453, 740, 484, 280, 600, 789, 878, 411, 640, 812, 699, 940, 640, 1050
2	374, 381, 275, 482, 505, 603, 285, 579, 410, 115, 432, 628, 715, 245, 467, 639, 522, 768, 468, 881
3	410, 414, 305, 512, 539, 635, 315, 600, 444, 145, 462, 653, 732, 278, 496, 668, 555, 791, 499, 915
4	293, 304, 191, 402, 423, 521, 201, 494, 322, 40, 347, 543, 634, 172, 380, 551, 447, 685, 387, 805
5	600, 603, 495, 700, 721, 824, 506, 792, 623, 340, 650, 847, 942, 490, 784, 853, 741, 980, 689, 1100

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Для всіх варіантів: число розрядів $k = 7$; рівень значущості α =5%.

Контрольні запитання

1. Що таке статистичне моделювання?
2. Яким чином відбувається побудова гістограми та полігону?
3. За якою формулою визначають математичне сподівання?
4. За якою формулою визначають дисперсію?
5. Яким чином визначають величину розряду (інтервалу) та ймовірність попадання випадкової величини на інтервал?

Практичне заняття № 12
Математичний метод планування експерименту

Мета: навчитися використовувати метод математичного планування експерименту.

Теоретичні відомості

Експеримент є основним методом наукових досліджень. Дослідження об'єкта може здійснюватися класичним методом або математичним методом планування експерименту. Як правило, експерименти багатофакторні, тобто на об'єкт дослідження діє два і більше фактори – незалежні змінні величини, які впливають на вихідну величину. Розглянемо порядок проведення повного факторного експерименту (ПФЕ). Планування і проведення ПФЕ складається з таких основних етапів: кодування факторів, складання плану-матриці експерименту, рандомізація дослідів, реалізація плану експерименту, перевірка відтворюваності дослідів, перевірка адекватності моделі, оцінка значущості коефіцієнтів регресії [2, 19].

Зв'язок між кодованими (безрозмірними величинами) і натуральними значеннями факторів встановлюється залежністю [2, 19]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \qquad (12.1)$$

де x_i, X_i – відповідно кодоване та натуральне значення i-го фактора; X_{i0} – натуральне значення i-го фактора на нульовому рівні; ΔX_i – інтервал варіювання i-го фактора.

Нульовим називають рівень, що займає центр інтервалу (середнє значення фактора). Після кодування факторів складають план-матрицю експерименту (таблиця 12.1), яка дозволяє проводити незалежну оцінку коефіцієнтів регресії.

Таблиця 12.1 – План-матриця ПФЕ 2^2

Номер досліду u	Значення кодованих факторів		Взаємодія кодованих факторів x_1x_2
	x_1	x_2	
1	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Після цього проводять рандомізація дослідів з метою встановлення послідовності їх проведення. Нехай, у подальшому при проведенні дослідів (під час реалізації плану-матриці експерименту) отримані значення вихідного параметра y_{u1}, y_{u2}, y_{u3}, де $u1$, $u2$, $u3$ – відповідно номер досліду в першій,

другій та третій повторюваності. Середнє арифметичне значення вихідного параметра розраховується за формулою [2, 19]:

$$\overline{y}_u = \frac{1}{3} \cdot (y_{u1} + y_{u2} + y_{u3}) . \tag{12.2}$$

Перевірка відтворюваності дослідів при однаковому числі повторюваностей для кожного досліду проводиться за критерієм Кохрена, табличне значення якого позначимо $G_T(0{,}05;\ n;\ f_u)$. В позначенні критерію Кохрена величина 0,05 означає 5%-й рівень значущості (дорівнює $1-\alpha$, де α – довірча ймовірність); n – число дослідів; $f_u = m_0 - 1$ – число ступенів вільності кожної оцінки, де m_0 – число повторюваностей. Перевірка відтворюваності проводиться за умовою [19]:

$$G \le G_T(0{,}05; n; f_u) . \tag{12.3}$$

Розрахункове значення критерію Кохрена визначається за формулою [19]:

$$G = S^2_{u\max} / \sum_{u=1}^{n} S_u^2 , \tag{12.4}$$

де S_u^2 – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в u-му досліді; $S^2_{u\max}$ – найбільша з дисперсій.

Дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в u-му досліді, визначається [19]:

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0} \cdot \sum_{i_k}^{m_0} (y_{ui_k} - \overline{y}_u)^2 , \tag{12.5}$$

де i_k – номер повторюваності; y_{ui_k} – вихідний параметр при i_k повторюваності.

Дисперсія відтворюваності (помилка досліду) визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^{n} S_u^2 . \tag{12.6}$$

У випадку невиконання умови відтворюваності слід перевірити точність вимірювання і умови проведення дослідів, а також проаналізувати вплив неврахованих факторів. Можна також зменшити інтервал варіювання факторів, збільшити число повторюваностей дослідів. Якщо процес відтворюваний, то вираховують коефіцієнти рівняння регресії [2, 19]:

$$\left.\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^{n} \overline{y}_u ; \\ b_i &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^{n} x_{iu} \overline{y}_u ; \\ b_{ij} &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^{n} x_{iu} x_{ju} \overline{y}_u , \end{aligned}\right\} \tag{12.7}$$

де x_{iu} – значення i -го кодованого фактора в рядку матриці в u -му досліді; x_{ju} – значення j -го кодованого фактора в рядку матриці в u -му досліді.

Рівняння регресії матиме вигляд [2, 19]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 . \quad (12.8)$$

Перевірка адекватності рівняння проводиться спочатку на лінійній його частині за допомогою критерію Фішера *F*. Адекватність матиме місце, коли виконується нерівність [2, 19]:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F_T(0,05; f_{ad}; f_y) , \quad (12.9)$$

$$f_{ad} = n - k - 1, \quad (12.10)$$

$$f_y = n(m_0 - 1) , \quad (12.11)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності; $F_T(0,05; f_{ad}; f_y)$ – критерій Фішера при 5%-му рівні значущості; f_{ad} – число ступенів вільності дисперсії адекватності; k – число факторів; f_y – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

Дисперсія адекватності обчислюється за виразом [2, 19]:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n-k-1} \sum_{u=1}^{n} (y - \bar{y}_u)^2 , \quad (12.12)$$

де y – розрахункове значення відгуку в i -му досліді лінійної частини рівняння регресії.

У випадку неадекватності лінійної моделі необхідно перевірити адекватність усього рівняння. Для цього ставлять додаткові досліди всередині експерименту. Після цього проводиться оцінка значущості коефіцієнтів рівняння регресії за допомогою критерію Стьюдента. Коефіцієнт вважається значущим (таким, що суттєво впливає на відгук), якщо виконується нерівність [2, 19]:

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t_T(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}} , \quad (12.13)$$

де b_a – коефіцієнти рівняння регресії, розраховані за формулами (12.7); Δb_a – довірча границя; $t_T(0,05; f_y)$ – критерій Стьюдента при 5% рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності f_y.

Після перевірки рівняння регресії відбувається перехід від кодованих факторів до натуральних. Після цього за рівнянням регресії будується поверхня відгуку та проекції двомірних січень поверхні відгуку на площину X_1X_2 в системі MathCAD. Приклад реалізації математичного методу планування експерименту за допомогою системи MathCAD наведено на рис. 12.1.

ORIGIN := 1 n := 4 m0 := 3 k := 2 i := 1..4 - відомі величини

$$X := \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$ - план-матриця

$$Yu := \begin{pmatrix} 35 & 32 & 35 \\ 50 & 52 & 48 \\ 75 & 74 & 76 \\ 91 & 92 & 96 \end{pmatrix}$$ - результати експерименту

Перевірка відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена.

$$Yc_i := \frac{1}{m0}\cdot\sum_{j=1}^{m0} Yu_{i,j} \qquad Su_i := \frac{1}{m0-1}\cdot\sum_{j=1}^{m0}\left(Yu_{i,j} - Yc_i\right)^2 \qquad Sy := \frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n} Su_i \qquad Gkoh := \frac{\max(Su)}{\sum_{i=1}^{n} Su_i}$$

Gkoh = 0.467

fu := m0 − 1

fu = 2

Оскільки табличне значення критерію Кохрена 0,77, то дослід відтворюваний.

Визначення коефіцієнтів рівняння регресії. i := 1..3

$$b0 := \frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n} Yc_i \qquad b_j := \frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(X_{i,j}\cdot Yc_i\right)$$

b0 = 63

b1 := b_1 b2 := b_2 b12 := b_3

b1 = 8.5 b2 = 21 b12 = 0.5

Лінійна частина рівняння регресії. $Y_i := b0 + b1\cdot X_{i,1} + b2\cdot X_{i,2}$

Перевірка адекватності моделі за допомогою критерію Фішера.

fad := n − k − 1 fad = 1 fy := n·(m0 − 1) fy = 8

$$Sad := \frac{1}{n-k-1}\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - Yc_i\right)^2 \qquad F := \frac{Sad}{Sy}$$

F = 0.267

Табличне значення критерію Фішера - 5,318, тобто модель адекватна.

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії за критерієм Стьюдента.

$$\Delta b := t\cdot\frac{\sqrt{Sy}}{\sqrt{n}}$$

Δb = 2.227 t := 2.3

$$b1 := \begin{cases} b1 & \text{if } |b1| \ge \Delta b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

b1 = 8.5

$$b2 := \begin{cases} b2 & \text{if } |b2| \ge \Delta b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

b2 = 21

$$b12 := \begin{cases} b12 & \text{if } |b12| \ge \Delta b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

b12 = 0

$$b0 := \begin{cases} b0 & \text{if } |b0| \ge \Delta b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

b0 = 63

Рівняння регресії: y(x1, x2) := b0 + b1·x1 + b2·x2 + b12·x1·x2

Перейдемо від закодованих до натуральних значень факторів.

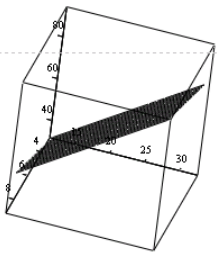
x10 := 6 x20 := 22 Δx1 := 3 Δx2 := 10 xn1 := 3..9 xn2 := 12..32

Рівняння регресії з натуральними значеннями факторів.

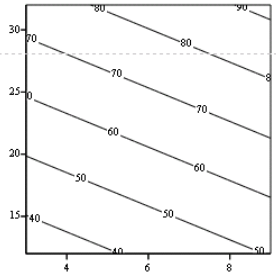
$$yn(xn1, xn2) := b0 + b1\cdot\frac{xn1 - x10}{\Delta x1} + b2\cdot\frac{xn2 - x20}{\Delta x2}$$

Побудова поверхні відгуку та проекції двомірних січень поверхні відгуку.

M := CreateMesh(yn,3,9,12,32)



M



M

Рисунок 12.1 – Математичний метод планування експерименту в системі MathCAD

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

У прикладі досліджують вплив на параметр y двох факторів X_1 та X_2, результати кодування факторів представлено в таблиці 12.2.

Таблиця 12.2 – Результати кодування факторів

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				Верхній	Нижній	Нульовий	Верхній	Нижній	Нульовий
Назва фактора	X_1	x_1	3	9	3	6	+1	-1	0
Назва фактора	X_2	x_2	10	32	12	22	+1	-1	0

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. Побудувати математичну модель запропонованого процесу, якщо відомі результати проведення двофакторного експерименту, а також за отриманою моделлю (рівнянням регресії) побудувати поверхню відгуку та про'кції двомірних січень поверхні відгуку на площину X_1X_2. Завдання виконується відповідно до варіанта згідно з таблицею 12.3.

Таблиця 12.3 – Завдання

Варіант 1			Варіант 2			Варіант 3			Варіант 4		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3,2	3,8	3,5	3,7	3,9	3,7	3,6	4,0	3,7	2,8	2,5	3,1
1,2	0,8	0,9	1,1	1,0	1,3	1,3	1,2	1,1	18,4	19,2	18,1
9,0	9,4	9,5	9,2	9,6	9,4	9,1	9,3	9,5	1,1	1,2	1,5
6,3	6,8	6,5	6,5	6,8	6,6	6,1	6,5	6,7	10,1	9,6	8,9

Джерело: використано таблицю із джерела [19].

Для всіх варіантів: характеристика факторів та числове значення їх рівнів варіювання:

Номер фактора	Рівні варіювання фактора
1	8…16
2	15…35

Контрольні запитання

1. Основні етапи планування і проведення ПФЕ?
2. За допомогою якого коефіцієнта перевіряється адекватність рівняння?
3. Як визначається значущість коефіцієнтів регресії?
4. Що перевіряється за допомогою критерію Кохрена?

Практичне заняття № 13
Класичний метод оптимізації, математичне програмування та симплекс-метод

Мета: навчитися використовувати класичний метод оптимізації, математичне програмування та симплекс-метод в оптимізаційних задачах.

Теоретичні відомості

Під **оптимізацією** розуміють процес вибору найкращого варіанта (альтернативи) з множини усіх можливих. За змістом задачі оптимізації можуть бути пов'язані з проєктування технічних пристроїв та технологічних процесів, з розподілом обмежених ресурсів та плануванням роботи підприємства. Пристрої, процеси та ситуації, для яких необхідно розв'язувати задачу оптимізації, називаються **об'єктами оптимізації** [6–8, 19].

Критерій оптимальності – це ознаки та переваги за якими необхідно провести порівняльне оцінювання альтернатив та обрати серед них найкращу з точки зору поставленої мети оптимізації. Якщо критерій оптимальності один, тоді **задача** називається **однокритеріальною**, в іншому випадку – **багатокритеріальною** [19].

Математична модель оптимізації – це модель, яка описує об'єкт за допомогою співвідношень між величинами, що характеризують його властивості. Зазвичай хоча б частину цих величин можна змінювати в деяких межах, що і породжує множину альтернатив, серед яких необхідно обрати найкращу. Величини, що змінюються під час оптимізації та входять у математичну модель об'єкта оптимізації, називають **параметрами оптимізації**, а співвідношення, що встановлюють межі можливої зміни цих параметрів, – **обмеженнями**. Ці обмеження можуть бути задані у формі рівнянь та нерівностей [2, 19].

Критерієм оптимальності може бути вимога досягнення найбільшого чи найменшого значення однією чи декількома функціями параметрів оптимізації, що виражають кількісну міру досягнення мети оптимізації об'єкта, що розглядається. Такі **функції** прийнято називати **цільовими** [2, 19].

Якщо функція $z = f(x)$ однієї змінної є неперервною і диференційованою та має екстремум у будь-якій, але не крайній точці діапазону зміни цієї змінної, тоді в цій точці похідна від функції дорівнює нулю, тобто [2, 19]:

$$f'(x) = 0 . \tag{13.1}$$

Для функції $z = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ багатьох змінних похідною першого порядку буде вектор, що містить частинні похідні першого порядку (градієнт функції z):

$$\nabla z = \left(\frac{\partial f(X)}{\partial x_1}; \frac{\partial f(X)}{\partial x_2}; \ldots; \frac{\partial f(X)}{\partial x_n} \right), \tag{13.2}$$

де $X = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$.

Необхідною умовою існування екстремуму в точці X_0 функції багатьох змінних $z = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ є рівність нулю градієнта функції $\nabla z(X_0) = 0$. Щоб

визначити, чи критичні точки є точками екстремуму, необхідно дослідити в них частинні похідні другого порядку. Для функції $z = f(x_1, x_2,\ldots, x_n)$ сформуємо матрицю Гессе, яка складається з частинних похідних другого порядку [2, 19]:

$$H = \left\| \frac{\partial^2 f(x_1, x_2, ..., x_n)}{\partial x_i \partial x_j} \right\|, \ (i = \overline{1,n}\ ;\ j = \overline{1,n}\ ). \tag{13.3}$$

Якщо функція неперервна і диференційована, тоді мішані похідні рівні:

$$\frac{\partial^2 f(x_1, x_2, ..., x_n)}{\partial x_i \partial x_j} = \frac{\partial^2 f(x_1, x_2, ..., x_n)}{\partial x_j \partial x_i}. \tag{13.4}$$

Ураховуючи зазначене, матриця H є симетричною. Головні її мінори [19]:

$$M_1 = |f_{11}|,\ M_2 = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{vmatrix}, \ldots,\ M_n = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots & f_{nn} \end{vmatrix}, \tag{13.5}$$

де $f_{ij} = \dfrac{\partial^2 f(X_0)}{\partial x_i \partial x_j}$ – значення частинної похідної другого порядку функції z в точці X_0.

Якщо всі головні мінори $M_1 > 0$, $M_2 > 0,\ldots$, $M_n > 0$, тоді X_0 – точка (локального) мінімуму. Якщо ж головні мінори почергово змінюють знак, починаючи з мінуса, тобто $M_1 < 0$, $M_2 > 0$, $M_3 < 0$, $M_4 > 0\ldots$, тоді X_0 – точка (локального) максимуму. Серед локальних екстремумів у межах області допустимих розв'язків вибирають найбільший та найменший, які називають глобальними [2, 19].

Якщо функція та/або обмеження задачі є нелінійними, тоді матимемо **задачу нелінійного програмування** (ЗНП). Якщо у ЗНП серед обмежень задачі немає нерівностей або умов дискретності змінних, тоді отримаємо задачу нелінійного програмування з умовами-рівностями [19]:

$$z = f(x_1, x_2, ..., x_n) \to \max(\min), \tag{13.6}$$

за умов

$$g_i(x_1, x_2, ..., x_n) = b_i\ ,\ i = \overline{1,m}\ , \tag{13.7}$$

де функції f, g_i – двічі неперервні диференційовані функції.

Таку ЗНП називають задачею на умовний екстремум або **класичною задачею оптимізації**. Умови (13.7) називаються **рівняннями зв'язку**. Для визначення оптимальних точок цієї задачі введемо невід'ємні сталі множники λ_1, $\lambda_2,\ldots, \lambda_m$, які називаються **множниками Лагранжа** [19].

Формуємо функцію Лагранжа [19]:

$$L(x_1, x_2, ..., x_n, \lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_m) = f(x_1, x_2, ..., x_n) + \\ + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i (b_i - g_i(x_1, x_2, ..., x_n)). \tag{13.8}$$

Відшукання умовного екстремуму задачі зводиться до знаходження безумовного екстремуму функції Лагранжа (13.8).

Алгоритм методу множників Лагранжа [19]:

1. Для задачі (13.6) – (13.7) формують функцію Лагранжа, тобто (13.8).

2. Знаходимо частинні похідні від функції Лагранжа за змінними x_j і λ_i та прирівнюємо їх до нуля.

Формуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial L}{\partial x_j} = \dfrac{\partial f}{\partial x_j} - \sum\limits_{i=1}^{m} \lambda_i \cdot \dfrac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0, (j = \overline{1,n}); \\ \dfrac{\partial L}{\partial \lambda_i} = b_i - g_i(x_1, x_2, ..., x_n) = 0, (i = \overline{1,m}). \end{cases} \tag{13.9}$$

3. З системи (13.9) знаходимо стаціонарні точки $X^* = (x_1, x_2, ..., x_n)$ та $\lambda^* = (\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_m)$. У цих точках цільова функція може мати екстремум.

4. Серед стаціонарних точок $X^* = (x_1, x_2, ..., x_n)$ функції L вибираються такі, в яких функція f має умовні екстремуми за наявних обмежень. Характер оптимальності з'ясовують аналогічно, як і у випадку безумовного екстремуму. Обчислюють значення функції (13.6) у цих точках.

Приклад [2]. За результатами дослідження впливу вмісту нітриту натрію ($NaNO_2$) x_1 [г/100 кг] та бактеріального нітритредукуючого препарату x_2 [г/100 кг] на стійкість кольору y [%] варених ковбас отримано рівняння регресії [104]:

$$y = 14{,}32 + 12{,}512\,x_1 - 1{,}12\,x_1^2 + 2{,}61\,x_2 - 0{,}06\,x_2^2 + 0{,}1\,x_1 x_2 .$$

Визначимо вміст нітриту натрію та бактеріального нітритредукуючого препарату, що забезпечить максимальну стійкість кольору. Цільова функція:

$$y(x_1, x_2) = 14{,}32 + 12{,}512\,x_1 - 1{,}12\,x_1^2 + 2{,}61\,x_2 - 0{,}06\,x_2^2 + 0{,}1\,x_1 x_2 \to \max .$$

Частинні похідні першого порядку від функції $y = f(x_1, x_2)$:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y}{\partial x_1} = 12{,}512 - 2{,}24\,x_1 + 0{,}1\,x_2; \\ \dfrac{\partial y}{\partial x_2} = 2{,}61 - 0{,}12\,x_2 + 0{,}1\,x_1. \end{cases}$$

Прирівняємо похідні до нуля та знайдемо критичну точку:

$$\begin{cases} 12{,}512 - 2{,}24\,x_1 + 0{,}1\,x_2 = 0; \\ 2{,}61 - 0{,}12\,x_2 + 0{,}1\,x_1 = 0. \end{cases}$$

Із першого рівняння системи знайдемо x_2:

$$x_2 = 22{,}4\,x_1 - 125{,}12 .$$

Підставимо x_2 у друге рівняння системи, після перетворень отримаємо:

$$2{,}61 - 2{,}69\,x_1 + 15{,}01 + 0{,}1\,x_1 = 0 ,$$

$$x_1 = 6{,}8 \text{ г/100кг}.$$

Обчислимо значення x_2:

$$x_2 = 22{,}4 \cdot 6{,}8 - 125{,}12 = 27{,}2 \text{ г/100 кг.}$$

Критична точка має координати X_0 = (6,8; 27,2).

Частинні похідні другого порядку від функції $y = f(x_1,x_2)$:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = -2{,}24; \\ \dfrac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = -0{,}12; \\ \dfrac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} = 0{,}1; \\ \dfrac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} = 0{,}1. \end{cases}$$

Сформуємо матрицю Гессе:

$$H = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} & \dfrac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} \\ \dfrac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} & \dfrac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2{,}24 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & -0{,}12 \end{bmatrix}.$$

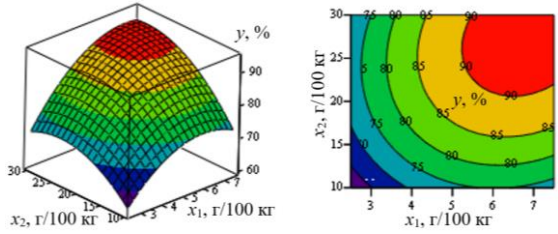
Головні мінори матриці H:

$$M_1 = -2{,}24 < 0;$$

$$M_2 = \begin{vmatrix} -2{,}24 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & -0{,}12 \end{vmatrix} = -2{,}24 \cdot (-0{,}12) - 0{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}26 > 0.$$

Оскільки головні мінори почергово змінюють знак, починаючи з мінуса, тобто M_1 = – 2,24 < 0, M_2 = 0,26 > 0, то X_0 = (6,8; 27,2) – це точка локального максимуму. Отже, за вмісту нітриту натрію ($NaNO_2$) x_1 = 6,8 г/100 кг і бактеріального нітритредукуючого препарату x_2 = 27,2 г/100 кг стійкість кольору варених ковбас буде максимальною (рис. 13.1):

$$y = 14{,}32 + 12{,}512 \cdot 6{,}8 - 1{,}12 \cdot 6{,}8^2 + 2{,}61 \cdot 27{,}2 - 0{,}06 \cdot 27{,}2^2 + 0{,}1 \cdot 6{,}8 \cdot 27{,}2 = 92{,}7\%.$$



а б

Рисунок 13.1 – Поверхня відгуку y (а) та її двомірні січення (б)

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Одна й та ж прикладна задача може приводити до різних задач оптимізації, залежно від того, яка математична модель використовується під час розгляду реального об'єкта оптимізації. Доцільно застосовувати більш прості моделі, але щоб вони достатньо повною мірою відображали властивості об'єкта, суттєві з точки зору поставленої мети. Тому при розробці математичної моделі необхідно чітко уявляти до якого класу буде відноситися поставлена задача оптимізації і які методи її розв'язування [19].

Одним з основних інструментів розв'язку задач оптимізації є **математичне програмування**. Задачу математичного програмування (екстремальну задачу) можна записати у вигляді [19]:

$$z = f(x_1, x_2, ..., x_n) \to \max(\min), \tag{13.10}$$

за умови

$$g_i(x_1, x_2, ..., x_n)\{\leq, =, \geq\} b_i, \ i = \overline{1, m}, \tag{13.11}$$

$$x_j \geq 0, \ j = \overline{1, n}, \tag{13.12}$$

де функції f, g_i і числа b_i вважаються заданими.

Умови (13.11) та (13.12) називаються **обмеженнями**, а функція (13.10) – **цільовою функцією**, яка виражає критерій оптимальності.

Вектор $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$ (або множина значень змінних $(x_1, x_2, ..., x_n)$), що задовольняє умови (13.11) та (13.12) називається **допустимим розв'язком** (допустимою множиною) або **планом задачі** (13.10) – (13.12). Кожному плану відповідає значення цільової функції, яке обчислюється за формулою (13.10). План, за якого цільова функція набуває екстремального значення, називається **оптимальним** [19].

Задачі математичного програмування поділяються на [19]:

- задачі лінійного програмування;
- задачі цілочислового програмування;
- задачі дробово-лінійного програмування;
- задачі нелінійного програмування;
- задачі динамічного програмування;
- задачі стохастичного програмування.

Задачі лінійного програмування. Формулювання загальної задачі лінійного програмування (ЗЛП). Нехай задана функція [19]:

$$z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + ... + c_n x_n, \tag{13.13}$$

і система лінійних обмежень

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + ... + a_{1n}x_n\{\leq, =, \geq\} b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + ... + a_{2n}x_n\{\leq, =, \geq\} b_2; \\ ..... \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n\{\leq, =, \geq\} b_m; \end{cases} \tag{13.14}$$

$$x_1 \geq 0, \ x_2 \geq 0, \ \ldots, x_n \geq 0, \tag{13.15}$$

де c_j, a_{ij}, $b_i \in R$ ($i = \overline{1,m}$; $j = \overline{1,n}$).

Знайти такі невід'ємні значення змінних $x_1, x_2, ..., x_n$, які задовольняють умовам (13.14) та (13.15) і за яких цільова функція (13.13) набуває екстремального (максимального чи мінімального) значення.

Якщо в ЗЛП система обмежень (13.14) має вигляд рівнянь, де $b_i \geq 0$, то ЗЛП називається **ЗЛП у канонічній формі**.

Алгоритм графічного методу розв'язування ЗЛП (при $n = 2$) [19]:

1. Будуємо прямі лінії, рівняння яких дістаємо заміною в обмеженнях (13.14) знаків нерівностей на знаки рівностей.

2. Визначаємо півплощини, що відповідають кожному обмеженню задачі. Кожна пряма $a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n = b_m$, отримана з обмежень (13.14), поділяє площину на дві півплощини. Точки однієї з цих півплощин задовольняють нерівність $a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n \{\leq, =, \geq\} b_m$, іншої – не задовольняють. Щоб дізнатися, точки якої півплощини задовольняють нерівність, треба в цю нерівність підставити координати початку координат, тобто, $x_1 = 0$ та $x_2 = 0$. Якщо ці координати задовольняють нерівність, то нерівність задовольнятимуть усі точки півплощини, яка містить початок координат. Якщо ці координати не задовольняють нерівність, то нерівність будуть задовольняти усі точки півплощини, яка не містить початок координат.

3. Знаходимо многокутник розв'язків ЗЛП.

4. Будуємо вектор $\overline{N} = (c_1; c_2)$, що задає напрям зростання значень цільової функції задачі.

5. Будуємо пряму $c_1x_1 + c_2x_2 = const$, перпендикулярну до вектора $\overline{N} = (c_1; c_2)$.

6. Переміщаючи пряму $c_1x_1 + c_2x_2 = const$ в напрямі вектора $\overline{N} = (c_1; c_2)$ (для задачі максимізації) а бо в протилежному напрямі (для задачі мінімізації), знаходимо вершину многокутника розв'язків (останню спільну точку графіка цільової функції і області допустимих розв'язків (ОДР)), де цільова функція досягає екстремального значення.

7. Визначаємо координати точки, в якій цільова функція набуває максимального (мінімального) значення, і обчислюємо екстремальне значення цільової функції в цій точці.

При застосуванні графічного методу для розв'язування ЗЛП можливі такі випадки. Цільова функція набуває максимального значення в єдиній вершині *A* многокутника розв'язків (рис. 13.2, а). Максимального значення цільова функція може досягати в будь-якій точці відрізка *AB* (рис. 13.2, б), тоді ЗЛП має альтернативні оптимальні плани. ЗЛП не має оптимальних планів (рис. 13.2, в – значення цільової функції рівне нескінченності; рис. 13.2, г – система обмежень задачі несумісна). ЗЛП має оптимальний план за необмеженої області допустимих розв'язків (рис. 13.2, д, е). На рис. 13.2, д у точці *B* – максимум;

на рис. 13.2, е у точці *B* – мінімум. На рис. 13.2, є показано, що в випадку необмеженої області допустимих планів цільова функція може набувати як максимального, так і мінімального значення.

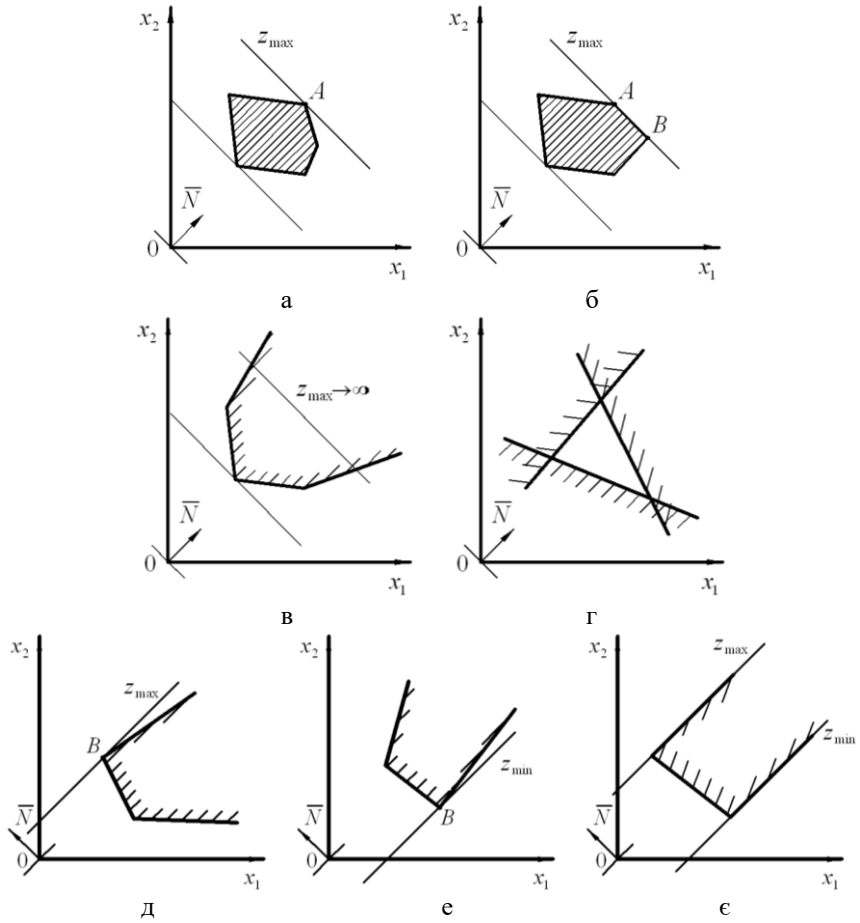


Рисунок 13.2 – Можливі випадки розв'язування ЗЛП графічним методом
Джерело: використано рисунок із джерела [9, 19].

Приклад [1 9]**.** Нехай цех підприємства має виготовити 100 продуктів трьох виду, кожний продукт необхідно зробити у кількості не менше 20 одиниць. На продукти витрачається відповідно 4 кг, 3,4 кг та 2 кг сировини А при її загальному запасі на підприємстві 340 кг, а також по 4,75 кг, 11 кг та 2 кг сировини Б при її загальному запасі 750 кг. Скільки одиниць продукту кожного виду x_1, x_2, x_3 необхідно виготовити для отримання максимального об'єму

виробництва у грошовому еквіваленті, якщо ціна продуктів складає, відповідно, 400, 300 та 200 грн?

На рис. 13.3 представлено приклад виконання завдання із використанням MathCAD.

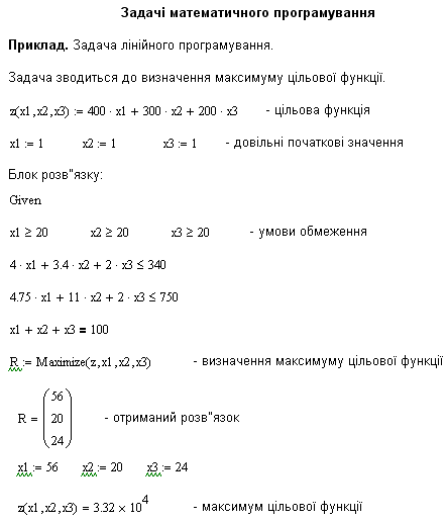


Рисунок 13.3 – Приклад виконання ЗЛП з використанням MathCAD

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Універсальним методом розв’язування ЗЛП є **симплекс-метод**. Симплекс-метод – це поетапна обчислювальна процедура, в основу якої покладено принцип послідовного поліпшення значень цільової функції за рахунок цілеспрямованого переходу від одного опорного плану ЗЛП до іншого [9, 19].

Задачі цілочислового програмування. Значна частина технічних задач потребує цілочислового розв’язку. До задач цілочислового програмування (ЗЦП) можна віднести такі: оптимального використання устаткування чи обладнання; календарного планування; оптимального розкрою матеріалів та інші. ЗЦП формується так само, як і ЗЛП, але включає додаткову вимогу, яка полягає в тому, що значення змінних, які складають оптимальний розв’язок, повинні бути цілими невід’ємними числами [19].

Для розв’язування ЗЦП розроблено спеціальні методи, які можна поділити на три групи: методи відтинання (метод Гоморрі), комбінаторні методи (метод гілок і меж), методи випадкового пошуку й евристичні методи.

Задачі дробово-лінійного програмування. При розв’язуванні низки технічних задач вибирають показники, які математично представляють у вигляді дробово-лінійних функцій. За умови наявності лінійних обмежень, що характеризують (описують) досліджувану систему чи процес, їх модель являє собою так звану задачу дробово-лінійного програмування (ЗДЛП) [19].

Постановка ЗДЛП. Необхідно визначити такі значення $x_j \geq 0$ ($j = \overline{1,n}$), за яких оптимізується значення цільової функції [19]:

$$z = \frac{\sum_{j=1}^{n} c_j x_j + c_0}{\sum_{j=1}^{n} d_j x_j + d_0} \to \max(\min), \tag{13.16}$$

за умов

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \{\leq, =, \geq\} b_i, \ i = \overline{1,m}, \tag{13.17}$$

$$x_j \geq 0, \ j = \overline{1,n}, \tag{13.18}$$

де c_0, d_0, c_j, d_j, a_{ij}, $b_i \in R$.

При цьому вважається, що знаменник цільової функції (13.16) в області допустимих розв'язків системи обмежень (13.17) не дорівнює нулю.

Цільова функція (13.16) з геометричної точки зору визначає пряму, що проходить через початок координат [19]:

$$x_2 = \frac{zd_1 - c_1}{c_2 - zd_2} x_1. \tag{13.19}$$

Кут нахилу прямої (13.19) визначається коефіцієнтом [19]:

$$R_z = \frac{zd_1 - c_1}{c_2 - zd_2}. \tag{13.20}$$

Величина коефіцієнта R_z при заданій умові задачі визначається числом z, яке, в свою чергу, залежить від координат точок ОДР задачі. З (13.20), отримаємо:

$$R_z' = \frac{c_2 d_1 - c_1 d_2}{(c_2 - zd_2)^2}. \tag{13.21}$$

Знак похідної R_z' визначається знаком величини $(c_2 d_1 - c_1 d_2)$. Знак останньої і визначає напрям обертання прямої (5.19) навколо початку координат. Якщо $R_z' < 0$, то пряма (13.19) обертається навколо початку координат за годинниковою стрілкою, якщо ж $R_z' > 0$, то пряма (13.19) обертається навколо початку координат проти годинникової стрілки. Знання напряму обертання прямої (13.19) дозволяє встановити точки, в яких досягається максимальне чи мінімальне значення цільової функції (13.16). При обертанні прямої (13.19) навколо початку координат і входження в ОДР задачі їх перша спільна точка є точкою мінімуму, а остання – при виході прямої (13.19) з ОДР є точкою максимуму. Це твердження має місце незалежно від напряму обертання прямої (13.19) [19].

Як правило, точка максимуму або мінімуму є вершиною многокутника розв'язків. В окремих випадках точок максимуму або мінімуму може бути безліч.

Зокрема це має місце, коли пряма (13.19) при обертання та входженні в ОДР дотикається до сторони многокутника розв'язків.

Алгоритм графічного методу розв'язування ЗДЛП (при $n = 2$) [19].

1. У системі координат x_1x_2 будується ОДР, що визначається обмеженнями (13.17) та (13.18).

2. Будується пряма (13.19) при довільному значенні $z = const$.

3. Встановлюється знак виразу $(c_2d_1 - c_1d_2)$ і на його основі визначається напрям обертання прямої (13.19).

4. Встановлюються точки, в яких досягається максимальне або мінімальне значення цільової функції (13.16).

5. Визначаються координати точок оптимуму.

6. З виразу (13.16) з урахуванням координат точок оптимуму визначається оптимальне значення цільової функції.

Приклад. Розв'язати задачу дробово-лінійного програмування із використанням MathCAD. Знайти

$$z = \frac{3x_1 - 2x_2}{x_1 + 2x_2} \to \max,$$

за умови

$$\left.\begin{aligned} 2x_1 + 4x_2 &\le 16; \\ -4x_1 + 2x_2 &\le 8; \\ x_1 + 3x_2 &\ge 9; \end{aligned}\right\}$$

$$x_1, x_2 \ge 0.$$

На рис. 13.4 представлено приклад виконання задачі з використанням MathCAD. На рис. 13.5 представлено розв'язок ЗДЛП графічним методом.

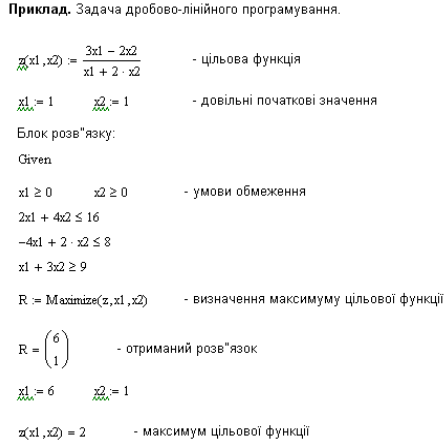


Рисунок 13.4 – Приклад виконання ЗДЛП з використанням MathCAD

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

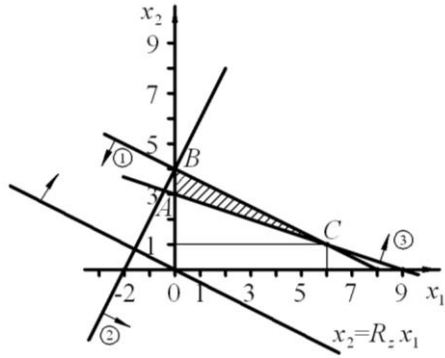


Рисунок 5.5 – Графічна інтерпретація ЗДЛП (точка максимуму C (6;1))
Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Задачі нелінійного програмування. У задачах нелінійного програмування (ЗНП) функція (13.10) або хоча б одна з функцій (13.11) є нелінійною. Найбільш вивченими класами ЗНП є задачі **квадратичного програмування** (у цих задачах функції (13.11) є лінійними, а функція (13.10) є сумою лінійної і квадратичної форми), **опуклого програмування** (у цих задачах функції (13.10) і (13.11) є опуклими і будь-який локальний екстремум є глобальним) та **сепарабельного програмування** (функція називається сепарабельною, якщо вона є сумою n функцій) [19].

Якщо в задачах лінійного програмування точки екстремуму є вершинами многогранників розв'язків, то в задачах з нелінійною цільовою функцією вони можуть лежати всередині області, на ребрі (грані) або у вершині многогранника.

Для ЗНП універсального методу їх розв'язування не існує. Методи нелінійного програмування бувають прямі і непрямі. **Прямими методами** оптимальні розв'язки шукають у напрямку найшвидшого збільшення (зменшення цільової функції). Типовими для цієї групи є градієнтні методи. **Непрямі методи** полягають у зведені задачі до такої, знаходження оптимуму якої вдається спростити (методи квадратичного та сепарабельного програмування) [19].

Оптимізаційні задачі, на змінні яких не накладаються обмеження, розв'язують методами класичної математики. Оптимізацію з обмеженнями-рівностями виконують методами зведеного градієнта, зокрема, методом Якобі та множників Лагранжа. У задачах оптимізації з обмеженнями нерівностями досліджують необхідні та достатні умови існування екстремуму Куна–Таккера.

Одним з найпростіших типів ЗНП є ЗНП з двома змінними [19]:

$$z = f(x_1, x_2) \to \max(\min), \tag{13.22}$$

за умови

$$g_i(x_1, x_2)\{\leq, =, \geq\} b_i,\ i = \overline{1, m}, \tag{13.23}$$

$$x_1, x_2 \geq 0. \tag{13.24}$$

Алгоритм графічного методу розв'язування ЗНП (при $n = 2$) [19]:

1. Будується ОДР, що визначається обмеженнями (13.23) та (13.24).

2. Будуються лінії рівня, що визначаються цільовою функцією (13.22).

3. Встановлюються точки, що підозрілі на екстремум. Такими є точки, що належать і графіку цільової функції, і ОДР, і які в достатньо малому своєму околі інших точок ОДР не містять.

4. Знаходяться значення цільової функції (13.22) у визначених точках і серед них вибираються ті, в яких досягається найбільше чи найменше значення. В окремих випадках на основі використання достатніх умов екстремуму визначаються точки екстремуму.

Приклад. Використовуючи засоби MathCAD знайти мінімальне значення сепарабельної функції:

$$z = (x_1 - 4)^2 + (x_2 - 6)^2,$$

за умови

$$\left.\begin{array}{l} x_1 + x_2 \geq 1; \\ 2x_1 + 3x_2 \leq 12; \end{array}\right\}$$

$$x_1, x_2 \geq 0.$$

На рис. 13.6 представлено приклад виконання завдання з використанням MathCAD. На рис. 5.7 представлено розв'язок ЗНП графічним методом.

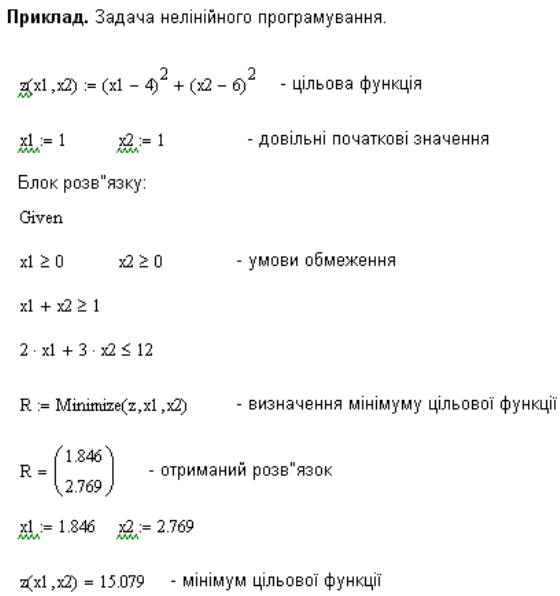


Рисунок 13.6 – Приклад виконання ЗНП з використанням MathCAD

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

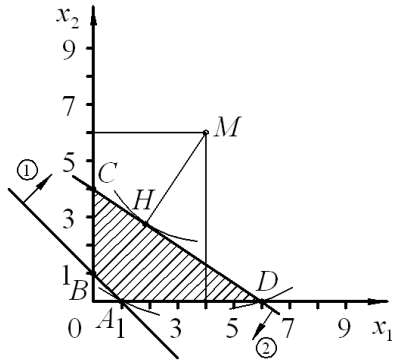


Рисунок 13.7 – Графічна інтерпретація ЗНП (точка мінімуму H (1,85;2,77))
Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Універсальним методом розв'язування ЗЛП є симплекс-метод. **Симплекс-метод** – це поетапна обчислювальна процедура, в основу якої покладено принцип послідовного поліпшення значень цільової функції за рахунок цілеспрямованого переходу від одного опорного плану ЗЛП до другого. Як правило, цей метод застосовується, якщо змінних більше двох. Симплекс-метод адаптований до розв'язування ЗЛП у канонічній формі. Зведення ЗЛП до канонічної форми здійснюють таким чином [19]:

– якщо *i*-те обмеження-рівність в правій частині має значення $b_i < 0$, тоді необхідно помножити *i*-те обмеження на (–1), відповідно, в правій частині утвориться додатне значення;

– якщо *i*-те обмеження має вигляд нерівності:

$$a_{i1} \cdot x_1 + a_{i2} \cdot x_2 + ... + a_{in} \cdot x_n \le b_i , \qquad (13.25)$$

тоді, ввівши допоміжну (балансову) змінну $x_{n+1} \ge 0$, обмеження-нерівність (13.25) можна представити у вигляді рівності:

$$a_{i1} \cdot x_1 + a_{i2} \cdot x_2 + ... + a_{in} \cdot x_n + x_{n+1} = b_i ; \qquad (13.26)$$

– якщо *i*-те обмеження має вигляд нерівності:

$$a_{i1} \cdot x_1 + a_{i2} \cdot x_2 + ... + a_{in} \cdot x_n \ge b_i , \qquad (13.27)$$

тоді, ввівши допоміжну (балансову) змінну $x_{n+1} \ge 0$, обмеження-нерівність (13.25) можна представити у вигляді рівності:

$$a_{i1} \cdot x_1 + a_{i2} \cdot x_2 + ... + a_{in} \cdot x_n - x_{n+1} = b_i . \qquad (13.28)$$

Задача лінійного програмування, в якій необхідно знайти максимум цільової функції, може бути зведена до ЗЛП на мінімум, якщо цільову функцію помножити на (–1), тобто задачі:

$$\max(z) = \max(c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + ... + c_n \cdot x_n) \qquad (13.29)$$

та

$$\min(-z) = \min(-c_1 \cdot x_1 - c_2 \cdot x_2 - ... - c_n \cdot x_n) \qquad (13.30)$$

мають однакові оптимальні розв'язки.

Алгоритм розв'язування ЗЛП симплекс-методом [19]:

1. Визначення початкового опорного плану задачі. Для цього ЗЛП, зведену до канонічної форми, необхідно представити у векторній формі. Якщо після запису задачі у векторній формі є необхідна кількість одиничних векторів, тоді початковий опорний план являє собою вектор *B*. Якщо немає необхідної кількості одиничних незалежних векторів, тоді для побудови першого опорного плану застосовують метод штучного базису.

2. Побудова симплексної таблиці:

– у першому стовпчику таблиці визначається кількість *m* базисних змінних (базисні змінні – це змінні, які входять тільки в одне рівняння системи обмежень і мають коефіцієнт (+1));

– у другому стовпчику таблиці "Базис" записують вектори A_j, які знаходяться біля базисних змінних в системі обмежень ЗЛП у векторній формі;

– у третьому стовпчику таблиці "$C_{баз.}$" записуються коефіцієнти при базисних змінних у цільовій функції;

– у четвертому стовпчику таблиці записується опорний план задачі *B*;

– у решті стовпчиків таблиці, кількість яких відповідає кількості змінних задачі, записуються коефіцієнти із кожного обмеження задачі.

3. Перевірка опорного плану на оптимальність здійснюється за допомогою оцінок Δ_j. Опорний план $X^* = (x_1^*, x_2^*, ..., x_n^*)$ ЗЛП є оптимальним, якщо для всіх *j* (де $j = \overline{1,n}$) виконується умова:

$$\Delta_j \geq 0 \text{ (для задачі на max)}, \tag{13.31}$$

або

$$\Delta_j \leq 0 \text{ (для задачі на min)}. \tag{13.32}$$

Значення оцінок визначаються за формулою:

$$\Delta_j = z_j - C_j = \sum_{i=1}^{m} C_{баз.i} \cdot a_{ij} - C_j . \tag{13.33}$$

Розраховані оцінки записують в окремий рядок таблиці. Якщо всі Δ_j задовольняють умову оптимальності, тоді визначений опорний план є оптимальним. Якщо не всі Δ_j задовольняють умову оптимальності, тоді необхідно виконати перехід до нового опорного плану задачі.

4. Перехід від одного опорного плану до другого виконується зміною базису, тобто виключенням з нього однієї змінної та введенням замість неї другої. Змінна, яка включається до нового базису, відповідає тій оцінці Δ_j, що не задовольняє умову оптимальності. Якщо таких оцінок декілька, серед них вибирають найбільшу за абсолютною величиною і відповідну їй змінну вводять до базису (стовпчик, в якому знаходиться ця змінна, називають направляючим). Для визначення змінної, що має бути виключена із базису, знаходять для всіх додатних a_{ik} (де *k* – номер направляючого стовпчика) направляючого стовпчика величини $\theta_i = b_i/a_{ik}$ та записують їх в останній стовпчик таблиці. Серед усіх θ

вибирають найменше значення, що вказує на змінну, яка виводиться із базису (рядок r, в якому θ має найменше значення, називається направляючим). На перетині направляючого рядка і стовпчика розташований розв'язуючий елемент. За допомогою цього елемента та методу Жордано-Гаусса розраховують нову симплекс-таблицю.

Якщо на будь-якому етапі розрахунків виникає невизначеність у виборі направляючого рядка, бо виявляється кілька однакових мінімальних відношень $\theta_i = b_i/a_{ik}$, тоді чинять так: знаходять відношення усіх елементів наступного стовпчика, що не входить у базис, до елементів направляючого стовпчика, окрім тих, що рівні нулю; серед відношень вибирають найменше; той рядок якому відповідає найменше відношення і буде направляючим. Якщо при розрахунках знову будуть однакові мінімальні відношення, то знаходять відношення елементів наступного стовпчика з елементами направляючого стовпчика та вибирають з них найменше. Таким чином, здійснюють перетворення до тих пір, поки направляючий рядок не буде визначено однозначно.

5. Здійснюють повторення дій, починаючи з пункту 3 алгоритму розв'язування ЗЛП симплекс-методом.

Приклад [19]. Для виробництва йогурту використовуються такі рецептурні компоненти: молоко незбиране, молоко відновлене знежирене, стабілізатор, підсолоджувач, ароматизатор, барвник та закваска. Маси деяких рецептурних компонентів, необхідні для виготовлення 1000 кг йогурту, представлені в таблиці 13.1. Необхідно визначити, за якого співвідношення молока незбираного та молока відновленого знежиреного в рецептурі буде досягнута мінімальна жирність йогурту.

Вміст поживних речовин у сировині представлений в таблиці 5.2. Крім того, вміст білків в йогурті не має перевищувати 2,9%, а вміст вуглеводів має бути меншим, ніж 4,7%. Вміст молока відновленого знежиреного у йогурті не може перевищувати 25% від загальної маси молока незбираного та молока відновленого знежиреного.

Таблиця 13.1 – Маса рецептурних компонентів, що необхідна для виробництва 1000 кг йогурту

Сировина	Маса сировини, кг
Молоко незбиране	x_1
Молоко відновлене знежирене	x_2
Стабілізатор	5,0
Підсолоджувач	0,30
Ароматизатор	0,20
Барвник	0,15
Закваска	1 пакет
Всього	1000

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Таблиця 13.2 – Вміст поживних речовин у сировині для йогурту

Сировина	Вміст поживних речовин у сировині, %		
	Білки	Жири	Вуглеводи
Молоко незбиране	2,9	3,2	4,7
Молоко відновлене знежирене	2,8	0,05	4,5

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Розв'язування

Визначимо сумарну масу у рецептурі молока незбираного та молока відновленого знежиреного:

$$x_1 + x_2 = 1000 - 5 - 0{,}3 - 0{,}2 - 0{,}15 = 994{,}35 \text{ кг.}$$

Визначимо максимальну можливу масу молока відновленого знежиреного у рецептурі:

$$x_2 = \frac{25}{100} \cdot (x_1 + x_2) = 0{,}25 \cdot 994{,}35 = 248{,}588 \text{ кг.}$$

Необхідно знайти мінімальне значення цільової функції (мінімальну кількість жирів в йогурті):

$$z = \frac{3{,}2}{100} \cdot x_1 + \frac{0{,}05}{100} \cdot x_2 = 0{,}032 \cdot x_1 + 0{,}0005 \cdot x_2 \to \min ,$$

де z – маса жирів у йогурті, кг; x_1, x_2 – відповідно, маса молока незбираного та молока відновленого знежиреного у йогурті, кг; 3,2, 0,05 – коефіцієнти, що вказують вміст жирів в 1 кг, відповідно, молока незбираного та молока відновленого знежиреного, %.

Складемо обмеження для даної задачі. Оскільки йогурт має містити не більше 2,9% білків, тому обмеження для вмісту білків матиме вигляд:

$$\frac{2{,}9}{100} \cdot x_1 + \frac{2{,}8}{100} \cdot x_2 \le \frac{2{,}9}{100} \cdot (x_1 + x_2) ,$$

звідки

$$-0{,}1 \cdot x_2 \le 0 .$$

В обмеженні величини $\frac{2{,}9}{100} \cdot x_1$, $\frac{2{,}8}{100} \cdot x_2$ та $\frac{2{,}9}{100} \cdot (x_1 + x_2)$, відповідно становлять масу білків у молоці незбираному, молоці відновленому знежиреному та йогурті. Знак "≤" вказує на те, що вміст білків у йогурті має бути меншим за 2,9%.

Оскільки йогурт має містити не більше 4,7% вуглеводів, відповідно, обмеження матиме вигляд:

$$\frac{4{,}7}{100} \cdot x_1 + \frac{4{,}5}{100} \cdot x_2 \le \frac{4{,}7}{100} \cdot (x_1 + x_2) ,$$

звідки

$$-0,2 \cdot x_2 \le 0 .$$

В обмеженні величини $\frac{4,7}{100} \cdot x_1$, $\frac{4,5}{100} \cdot x_2$ та $\frac{4,7}{100} \cdot (x_1 + x_2)$, відповідно, становлять масу вуглеводів у молоці незбираному, молоці відновленому знежиреному та йогурті. Знак "≤" вказує на те, що вміст вуглеводів у йогурті має бути меншим за 4,7%.

Загальна маса молока незбираного та молока відновленого знежиреного у йогурті має становити:

$$x_1 + x_2 = 994,35 .$$

Маса молока відновленого знежиреного у йогурті:

$$x_2 \le 248,588.$$

Таким чином, обмеження матимуть вигляд:

$$\begin{cases} -0,1 \cdot x_2 \le 0; \\ -0,2 \cdot x_2 \le 0; \\ x_1 + x_2 = 994,35; \\ x_2 \le 248,588; \end{cases}$$

$$x_1 \ge 0 , \ x_2 \ge 0 .$$

Для побудови першого опорного плану приведемо систему нерівностей до канонічного вигляду, ввівши додаткові змінні x_3, x_4 та x_5:

$$z = 0,032 \cdot x_1 + 0,0005 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 \to \min ,$$

$$\begin{cases} -0,1 \cdot x_2 + x_3 = 0; \\ -0,2 \cdot x_2 + x_4 = 0; \\ x_1 + x_2 = 994,35; \\ x_2 + x_5 = 248,588. \end{cases}$$

Напишемо дану задачу у векторній формі:

$$A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3 + A_4 \cdot x_4 + A_5 \cdot x_5 = B ,$$

де $A_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$; $A_2 = \begin{pmatrix} -0,1 \\ -0,2 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$; $A_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$; $A_4 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$; $A_5 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$; $B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 994,35 \\ 248,588 \end{pmatrix}$.

Складаємо першу симплексну таблицю 13.3. Для визначення оцінок Δ_j необхідно скористатися формулою (13.33):

$$\Delta_1 = (0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0,032 \cdot 1 + 0 \cdot 0) - 0,032 = 0;$$

$$\Delta_2 = (0 \cdot (-0,1) + 0 \cdot (-0,2) + 0,032 \cdot 1 + 0 \cdot 1) - 0,0005 = 0,0315;$$

$$\Delta_3 = (0 \cdot 1 + 0 \cdot 0 + 0,032 \cdot 0 + 0 \cdot 0) - 0 = 0;$$

$$\Delta_4 = (0 \cdot 0 + 0 \cdot 1 + 0,032 \cdot 0 + 0 \cdot 0) - 0 = 0;$$

$$\Delta_5 = (0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0,032 \cdot 0 + 0 \cdot 1) - 0 = 0.$$

Серед отриманих оцінок є одна додатна: $\Delta_2 = 0{,}0315$. Оскільки необхідно знайти мінімум цільової функції, відповідно, додатне значення оцінки вказує на те, що початковий опорний план не є оптимальним. Таким чином, переходимо до другого опорного плану. Для цього серед усіх Δ_j вибираємо те, яке має максимальне значення. У цьому випадку це значення $\Delta_2 = 0{,}0315$. Відповідно, вектор A_2 необхідно ввести у базис.

Визначимо, на місце якого вектора базису необхідно ввести вектор A_2. Для цього знайдемо розв'язуючий елемент, порівнявши значення θ_i, які розрахуємо за формулою $\theta_i = b_i/a_{ik}$ (лише для додатних a_{ik}):

$$\theta_3 = 994{,}35/1 = 994{,}35;$$
$$\theta_4 = 248{,}588/1 = 248{,}588.$$

Оскільки найменше значення має $\theta_4 = 248{,}588$, відповідно, розв'язуючим елементом буде елемент 1, який вказує на те, що із базису необхідно виводити вектор A_5.

Побудуємо нову симплексну таблицю 13.4 та визначимо всі необхідні елементи згідно нового базису. Для цього кожен елемент попереднього розв'язуючого рядка необхідно поділити на розв'язуючий елемент (1) (таблиця 13.5). Решту рядків нової симплексної таблиці 13.4 знаходимо як різницю попередніх рядків таблиці 13.3 та нового розв'язуючого рядка, помноженого на коефіцієнт попереднього розв'язуючого стовпчика. Продемонструємо ці перетворення на прикладі рядка A_3 (таблиця 13.6).

Визначимо оцінки Δ_j у новій симплексній таблиці 13.4:

$$\Delta_1 = (0\cdot 0 + 0\cdot 0 + 0{,}032\cdot 1 + 0{,}0005\cdot 0) - 0{,}032 = 0;$$
$$\Delta_2 = (0\cdot 0 + 0\cdot 0 + 0{,}032\cdot 0 + 0{,}0005\cdot 1) - 0{,}0005 = 0;$$
$$\Delta_3 = (0\cdot 1 + 0\cdot 0 + 0{,}032\cdot 0 + 0{,}0005\cdot 0) - 0 = 0;$$
$$\Delta_4 = (0\cdot 0 + 0\cdot 1 + 0{,}032\cdot 0 + 0{,}0005\cdot 0) - 0 = 0;$$
$$\Delta_5 = (0\cdot 0{,}1 + 0\cdot 0{,}2 + 0{,}032\cdot(-1) + 0{,}0005\cdot 1) - 0 = -0{,}0315.$$

Серед отриманих оцінок немає додатних. Оскільки необхідно знайти мінімум цільової функції, відповідно, цей опорний план є оптимальним:

$$X = (x_1 = 745{,}762; x_2 = 248{,}588; x_3 = 24{,}8588; x_4 = 49{,}7176; x_5 = 0).$$

Мінімальна маса жирів у 1000 кг йогурту буде, якщо для його виробництва буде використано 745,762 кг молока незбираного та 248,588 кг молока відновленого знежиреного. У цьому випадку маса жирів у 1000 кг йогурту:

$$z = 0{,}032x_1 + 0{,}0005x_2 + 0x_3 + 0x_4 + 0x_5 =$$
$$= 0{,}032\cdot 745{,}762 + 0{,}0005\cdot 248{,}588 + 0\cdot 24{,}8588 + 0\cdot 49{,}7176 + 0\cdot 0 =$$
$$= 23{,}9886 \text{ кг}.$$

Визначимо відсотковий вміст жирів у йогурті:

$$1000 \text{ кг (йогурт)} - 100\%;$$
$$Ж = 23{,}9886 \text{ кг (маса жирів в йогурті)} - a_{ж.}\%;$$
$$a_{ж.} = \frac{100\cdot Ж}{1000} = \frac{100\cdot 23{,}9886}{1000} = 2{,}398\%.$$

Таблиця 13.3 – Симплексна таблиця

i	Базис	$C_{баз.}$	Опорний план B	0,032	0,0005	0	0	0	θ
				A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	
1	A_3	0	0	0	–0,1	1	0	0	-
2	A_4	0	0	0	–0,2	0	1	0	-
3	A_1	0,032	994,35	1	1	0	0	0	994,35
4	A_5	0	248,588	0	1	0	0	1	248,588
$m+1$	Δ_j		31,819	0	0,0315	0	0	0	

Таблиця 13.4 – Симплексна таблиця

i	Базис	$C_{баз.}$	Опорний план B	0,032	0,0005	0	0	0	θ
				A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	
1	A_3	0	24,8588	0	0	1	0	0,1	
2	A_4	0	49,7176	0	0	0	1	0,2	
3	A_1	0,032	745,762	1	0	0	0	–1	
4	A_2	0,0005	248,588	0	1	0	0	1	
$m+1$	Δ_j		23,988	0	0	0	0	–0,0315	

Таблиця 13.5 – Перетворення попереднього розв’язуючого рядка у новий

Попередній розв’язуючий рядок A_5 (таблиця 4.7)	248,588	0	1	0	0	1
Попередній розв’язуючий рядок / 1	248,588/1	0/1	1/1	0/1	0/1	1/1
Новий розв’язуючий рядок A_2 (таблиця 4.8)	248,588	0	1	0	0	1

Таблиця 13.6 – Перетворення попереднього рядка A_3 у новий рядок A_3

Попередній рядок A_3 (таблиця 4.7)	0	0	–0,1	1	0	0
(–0,1)×новий розв’язуючий рядок	–0,1·248,588 = = –24,8588	–0,1·0 = 0	–0,1·1 = –0,1	–0,1·0 = 0	–0,1·0 = 0	–0,1·1 = –0,1
Новий рядок A_3 (таблиця 4.8)	0 – (–24,8588) = = 24,8588	0 – 0 = 0	–0,1 – (–0,1) = 0	1 – 0 = 1	0 – 0 = 0	0 – (–0,1) = 0,1

Порядок виконання

Завдання [19]. Розв'язати задачу лінійного програмування (ЗЛП). На підприємстві встановлена технологічна лінія з виробництва зефіру двох видів. Основні рецептурні компоненти (цукор-пісок, патока, пюре яблучне, білок яєчний) для виробництва двох видів зефіру однакові і їх запаси на складі обмежені. Рецептурні компоненти, їх маса, необхідна для виготовлення 100 кг зефіру кожного виду, та їх добові запаси на підприємстві представлені в таблиці 13.7. Решта рецептурних компонентів на складі є в достатній кількості. Добове планове завдання передбачає виробництво не менше як 100 кг зефіру першого виду, але не більше, ніж 600 кг. А добове планове завдання для виробництва зефіру другого виду – не менше як 100 кг зефіру, але не більше, ніж 400 кг. Відомо також, що вартість 1 кг зефіру першого виду – 105 грн, а зефіру другого виду – 120 грн. Необхідно визначити, скільки кілограм зефіру першого виду x_1 та зефіру другого виду x_2 можна виробити з наявних запасів сировини на підприємстві за умови забезпечення максимального об'єму випуску у грошовому еквіваленті.

Таблиця 13.7 – Маса рецептурних компонентів, що необхідна для виробництва 100 кг зефіру, та їх запаси на складі

Сировина	Маса сировина, що необхідна на 100 кг продукції, кг		Запаси сировини на складі, кг
	зефір першого виду	зефір другого виду	
Цукор-пісок	70	60	420
Патока	10	15	90
Пюре яблучне	40	50	400
Білок яєчний	6	7	42

Джерело: використано рисунок із джерела [19].

Контрольні запитання

1. Які особливості задач лінійного програмування?
2. Які особливості задач нелінійного програмування?
3. Які особливості задач дробово-лінійного програмування?
4. Які особливості задач цілочислового програмування?
5. Які особливості задач динамічного програмування?
6. Який план задачі математичного програмування називається оптимальним?
7. У чому полягає симплекс-метод?
8. Яким чином здійснюють зведення ЗЛП до канонічної форми?
9. Який алгоритм розв'язування ЗЛП сиплекс-методом?
10. У чому полягає симплекс-метод із штучним базисом?

Практичне заняття № 14
Підготовлення заявки на винахід (корисну модель)

Мета: навчитися оформлювати заявку на винахід (корисну модель).

Теоретичні відомості

Важливою складовою діяльності фахівців у галузі харчових технологій є винахідницька робота. Результатом такої роботи є створення нових технологій, способів, технологічного обладнання або їх удосконалення. Відносини, що виникають у зв'язку із набуттям та здійсненням права власності на винаходи (корисні моделі) в Україні, регулюються Цивільним кодексом України та Законом України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" [20–28].

Винахід (корисна модель) – це результат інтелектуальної, творчої діяльності людини в будь-якій сфері технології; **секретний винахід (секретна корисна модель)** – винахід (корисна модель), що містить інформацію, віднесену до державної таємниці, права на який засвідчуються патентом на секретний винахід (секретну корисну модель); набуття права інтелектуальної власності на винахід (корисну модель) засвідчується патентом [20–28].

Патент на винахід – це різновид патенту, що видається за результатами кваліфікаційної експертизи заявки. **Строк дії патенту на винахід** становить 20 років від дати подання заявки [20–28].

Патент на корисну модель – це різновид патенту, що видається за результатами формальної експертизи заявки. **Строк дії патенту на корисну модель** становить 10 років від дати подання заявки [20–28].

Правова охорона надається винаходу (корисній моделі), що не суперечить публічному порядку, загальновизнаним принципам моралі та відповідає умовам патентоздатності.

Об'єктом винаходу, правова охорона якому надається згідно із законом, може бути продукт (пристрій, речовина, штам мікроорганізму, культура клітин рослини і тварини тощо), процес (спосіб) [20–28].

Об'єктом корисної моделі, правова охорона якій надається згідно із законом, може бути пристрій або процес (спосіб).

Правова охорона згідно із законом не поширюється на такі об'єкти [20–28]:

- сорти рослин і породи тварин;
- біологічні у своїй основі процеси відтворення рослин і тварин, що не належать до небіологічних та мікробіологічних процесів, а також продукти таких процесів;
- компонування напівпровідникових виробів;
- результати художнього конструювання;
- хірургічні чи терапевтичні способи лікування людини або тварини, способи діагностики організму людини або тварини; дія цього положення не поширюється на продукти (речовини або композиції), що застосовуються в діагностиці або лікуванні;
- процеси клонування людини;

- процеси змінювання через зародкову лінію генетичної ідентичності людей;

- використання людських ембріонів для промислових або комерційних цілей;

- процеси змінювання генетичної ідентичності тварин, які можуть спричинити їх страждання без будь-якої істотної медичної користі для людей або тварин, а також тварин, виведених внаслідок такого процесу;

- людський організм на різних стадіях його формування та розвитку, а також просте виявлення одного з його елементів, зокрема послідовності або частини послідовності гена; дія цього положення не впливає на надання правової охорони винаходу, об'єктом якого є елементи людського організму поза організмом або одержані в інший спосіб, із застосуванням технічного процесу, включаючи послідовність чи часткову послідовність гена, якщо навіть структура цього елемента ідентична структурі природного елемента;

- продукт або процес, який стосується рослини чи тварини, використання якого обмежується певним сортом рослин чи певною породою тварин;

- продукт або процес, який стосується природного біологічного матеріалу, не відокремленого від свого природного середовища, або що не є продуктом технічного процесу.

Заборона на законодавчому рівні комерційного використання певного об'єкта з інших підстав не впливає на надання йому правової охорони.

Не відповідає поняттю "винахід (корисна модель)", визначеному законом, та не визнається винаходом (корисною моделлю) згідно із законом, якщо виступає як самостійний об'єкт [20–28]:

- відкриття, наукова теорія, математичний метод;

- схема, правила і метод проведення ігор, конкурсів, аукціонів, фізичних вправ, інтелектуальної або організаційної, зокрема господарської, діяльності (планування, фінансування, постачання, облік, кредитування, прогнозування, нормування тощо);

- комп'ютерна програма;

- форма представлення інформації (наприклад, у вигляді таблиць, діаграм, графіків, за допомогою акустичних сигналів, вимовляння слів, візуальних демонстрацій, зокрема на екрані комп'ютерного пристрою, аудіо- та відеодисків, умовних позначень, зокрема дорожніх знаків, схем маршрутів, кодів, шрифтів тощо, розкладів, інструкцій, проектів або схем планування споруд, будинків, територій);

- зовнішній вигляд продуктів (зокрема виробів, споруд, територій), спрямований на задоволення виключно естетичних потреб.

Право на одержання патенту має винахідник та інші особи, які набули право на винахід (корисну модель) за договором чи законом.

Патент надає його власнику [20–28]:

- виключне право на використання винаходу (корисної моделі) за власним розсудом;

- право дозволяти використання винаходу (корисної моделі) на підставі ліцензійної угоди;

- виключне право перешкоджати неправомірному використанню винаходу (корисної моделі), у тому числі забороняти таке використання.

Особа, яка бажає одержати патент на винахід (корисну модель) і має на це право, може подати заявку на його видачу до Національного органу інтелектуальної власності, що приймає, розглядає та проводить експертизу заявок. За дорученням заявника заявку можна подати через представника в справах інтелектуальної власності (патентного повіреного) або іншу довірену особу. Іноземні особи та особи без громадянства, які проживають чи мають постійне місцезнаходження поза межами України, реалізують свої права через представників у справах інтелектуальної власності (патентних повірених).

Заявка – це сукупність документів, необхідних для державної реєстрації винаходу (корисної моделі). Заявка на винахід повинна стосуватися одного винаходу або групи винаходів, пов'язаних єдиним винахідницьким задумом. Заявка на корисну модель повинна стосуватися однієї корисної моделі [20–28].

Заявка складається українською мовою й повинна містити [20–28]:

- заяву про видачу патенту на винахід (корисну модель);
- опис винаходу (корисної моделі);
- формулу винаходу (корисної моделі);
- креслення (якщо на них є посилання в описі);
- реферат.

За подання заявки сплачується збір.

Патент України на винахід видається за результатами кваліфікаційної експертизи заявки на винахід, під час якої встановлюється відповідність винаходу умовам патентоздатності (новизні, винахідницькому рівню, промисловій придатності). Патент України на корисну модель видається за результатами формальної експертизи [20–28].

Заявку складають українською мовою. Бібліографічні дані джерел інформації в документах заявки наводяться таким чином, щоб можна було знайти це джерело інформації.

У документах заявки можуть бути використані хімічні формули. Структурні формули хімічних сполук подають (як і креслення) з нумерацією кожної структурної формули як окремої фігури і наведенням посилань на відповідні позначення. При написанні структурних хімічних формул слід використовувати загальновживані символи елементів і чітко вказувати зв'язки між елементами і радикалами [20–28].

В описі, формулі і рефераті винаходу (корисної моделі) можуть бути використані математичні вирази (формули) і символи. Форма подання математичного виразу не регламентується. Усі літерні позначення, які є в математичних формулах, мають бути розшифровані. у порядку їх використання в формулі. Математичні позначення “>”, “=” та інші використовуються лише в математичних формулах, а в тексті їх необхідно писати словами (більше, менше, дорівнює тощо) [20–28].

У формулі, описі, рефераті і пояснювальних матеріалах до опису використовують, як правило, стандартизовані терміни і скорочення, а за їх відсутності – загальновживані в науковій і технічній літературі. При використанні термінів і позначень, що не є загальновживаними, необхідно пояснити їх значення при першому вживанні в тексті [20–28].

У описі, формулі винаходу (корисної моделі) та рефераті необхідно зберігати єдиність термінології, тобто одні і ті самі ознаки в зазначених документах повинні називатися однаково.

Заяву про видачу патенту України на винахід (корисну модель) необхідно подавати українською мовою за формою, яка представлена в Додатку А. Графи з кодами (21), (22), що розташовані у верхній частині заяви, заявником не заповнюються, вони призначені для зазначення реквізитів заявки після її подання уповноваженою організацією. Графи з кодами (86) і (87) заповнюються у випадку прийняття міжнародної заявки, що містить зазначення України, до розгляду за національною процедурою. За кодом (86) зазначають реєстраційний номер та дату подання міжнародної заявки, установлені відомством-одержувачем. У графі за кодом (87) зазначаються номер і дата міжнародної публікації міжнародної заявки [20–28].

За кодом (71) для фізичної особи (фізичних осіб) зазначають повне ім’я, місце проживання; для юридичної особи (юридичних осіб) зазначають повне найменування (згідно з установчими документами), місцезнаходження. Якщо заявником є винахідник, декілька винахідників чи всі винахідники, то їх місце проживання наводять на звороті заяви у графі за кодом (72).

За кодом (54) наводять повну назву винаходу чи корисної моделі, яка повинна збігатися з назвою, наведеною в описі. За кодом (98) зазначають адресу для листування між заявником та УКРНОІВІ, повне ім’я або найменування адресата. Листування може здійснюватись за будь-якою зручною для заявника адресою на території України. За наявності телефону, факсу чи іншого засобу зв’язку їх вказують. Якщо заявник користується послугами представника або іншої довіреної особи, то за кодом (74) зазначають повне ім’я та реєстраційний номер представника або повне ім’я іншої довіреної особи. За кодом (72) наводять дані про винахідника (винахідників): повне ім’я та місце проживання.

Опис повинен розкривати суть винаходу (корисної моделі) настільки ясно і повно, щоб його (її) міг здійснити фахівець у зазначеній галузі.

Структура опису (Додаток Б) [20–28]:

- індекс рубрики діючої редакції МПК (міжнародна патентна класифікація), до якої належить винахід (корисна модель);

- назва винаходу (корисної моделі) – повинна відповідати суті винаходу (корисної моделі) і, як правило, характеризувати його (її) призначення; назву винаходу (корисної моделі) необхідно викладати в однині, винятки складають назви, які не вживаються в однині та назви, що є хімічними сполуками, охопленими загальною структурною формулою;

- галузь техніки, до якої належить винахід (корисна модель), – зазначають галузь техніки, до якої належить винахід (корисна модель), а також, за потреби,

галузь застосування винаходу (корисної моделі); якщо таких галузей декілька, то зазначають ті з них, які мають перевагу;

- рівень техніки – представляють рівень техніки, відомий заявнику, і який можна вважати корисним для розуміння винаходу (корисної моделі) і його (її) зв'язку з відомим рівнем; зокрема, представляють дані про відомі заявнику аналоги винаходу (корисної моделі) з виділенням серед них аналога, найбільш близького за сукупністю ознак до винаходу (корисної моделі); **аналог** винаходу (корисної моделі) – це засіб того самого призначення, який відомий із джерел, що стали загальнодоступними до дати подання заявки і характеризується сукупністю ознак, подібних до сукупності суттєвих ознак винаходу (корисної моделі); при описуванні кожного з аналогів наводять бібліографічні дані джерела інформації [16], де він розкритий, його ознаки із зазначенням тих з них, що збігаються з суттєвими ознаками винаходу (корисної моделі), що заявляється, та зазначають відомі заявнику причини, що перешкоджають одержанню очікуваного технічного результату; для виявлення та обґрунтування причин, що перешкоджають при використанні найближчого аналога одержанню очікуваного технічного результату, необхідно проаналізувати технічні властивості аналога, обумовлені сукупністю притаманних йому ознак, характер виявлення цих властивостей при його використанні і показати їх недостатність для досягнення очікуваного технічного результату;

- суть винаходу (корисної моделі) – виражається сукупністю суттєвих ознак, достатніх для досягнення технічного результату, який забезпечує винахід (корисна модель); детально розкривають технічну задачу, на вирішення якої направлений винахід (корисна модель) та технічний результат, якого можна досягти при здійсненні винаходу (корисної моделі); під технічним результатом розуміють виявлення нових властивостей або покращання характеристик відомих властивостей об'єкта винаходу (корисної моделі), що можуть бути одержані при здійсненні винаходу (корисної моделі);

- перелік фігур креслення (якщо на них є посилання в описі) – крім переліку фігур, представляють стислі пояснення того, що зображено на кожній із них; якщо суть винаходу пояснюють інші ілюстративні матеріали (наприклад, фотографії), то наводять стисле пояснення їх змісту; таблиці нумерують окремо;

- відомості, які підтверджують можливість здійснення винаходу (корисної моделі) – розкривають можливість одержання зазначеного технічного результату при здійсненні винаходу (корисної моделі); якщо для характеристики винаходу використовують виражені у вигляді інтервалу значень кількісні ознаки, то у прикладах здійснення винаходу мають бути зазначені відомості, що підтверджують можливість одержання технічного результату у межах зазначеного інтервалу.

Для кращого розуміння і більш стислого викладення опису дозволяється інша послідовність наведення розділів або їх частин, якщо цього вимагає характер винаходу. Не допускається заміна розділу опису в цілому або його частини посиланням на інформаційне джерело, що містить необхідні відомості.

Формула винаходу – призначена для визначення обсягу правової охорони, яка надається патентом (деклараційним патентом), та повинна стисло і ясно відображати суть винаходу (корисної моделі). Вона відображає суть винаходу (корисної моделі), якщо вона містить сукупність його (її) суттєвих ознак, достатню для досягнення зазначеного заявником технічного результату. Формула винаходу (корисної моделі) повинна базуватися на описі й характеризувати винахід (корисну модель) тими самими поняттями, що містить опис винаходу (корисної моделі). Ознаки винаходу (корисної моделі) у формулі винаходу (корисної моделі) викладають таким чином, щоб забезпечити можливість їх ідентифікації, тобто однозначного розуміння їх змісту фахівцем на основі відомого рівня техніки [20–28].

Структура формули винаходу (корисної моделі): формула винаходу (корисної моделі) може бути одноланковою чи багатоланковою і включати відповідно один або декілька пунктів. Одноланкову формулу винаходу (корисної моделі) застосовують для характеристики одного винаходу (корисної моделі) сукупністю суттєвих ознак, які не мають розвитку чи уточнення щодо окремих випадків його виконання або використання. Багатоланкову формулу винаходу (корисної моделі) застосовують для характеристики одного винаходу (корисної моделі) з розвитком і(або) уточненням сукупності його (її) ознак стосовно деяких випадків виконання і використання винаходу (корисної моделі) або для характеристики групи винаходів. Багатоланкова формула, що характеризує один винахід (корисну модель), має один незалежний пункт і наступний (наступні) за ним залежний (залежні) пункт (пункти). При складанні багатоланкової формули дотримуються таких правил: незалежні пункти, як правило, не повинні містити посилань на інші пункти формули, однак такі посилання допускаються, якщо вони дають змогу викласти даний незалежний пункт без повторення в ньому повністю змісту інших пунктів; залежні пункти формули групуються разом із тим незалежним пунктом, якому вони підпорядковані; пункти багатоланкової формули винаходу (корисної моделі) нумеруються арабськими цифрами, починаючи з 1 (у порядку їх викладення). Пункт формули винаходу (корисної моделі) складається, як правило, з **обмежувальної частини**, яка включає ознаки винаходу, які збігаються з ознаками найближчого аналога, у тому числі родове поняття, що характеризує призначення об’єкта, та **відмітної частини**, яка включає ознаки, що відрізняють винахід від найближчого аналога. Обмежувальна й відмітна частини пункту формули відокремлюються одна від одної виразом “який (яка, яке) відрізняється тим, що...”. Формулу (або кожний пункт багатоланкової формули) викладають одним реченням [20–28].

Графічні зображення (власне креслення, схеми, діаграми тощо) оформлюють на окремому аркуші (окремих аркушах). У правому верхньому куті кожного аркуша зазначають назву винаходу (корисної моделі). Для пояснення суті винаходу (корисної моделі) як додаток до інших графічних матеріалів можуть бути подані фотографії [20–28].

Реферат є скороченим викладом змісту опису винаходу (корисної моделі), який включає назву винаходу (корисної моделі), характеристику галузі техніки,

якої стосується винахід (корисна модель), і (або) галузь його (її) застосування, якщо це не зрозуміло з назви, характеристику суті винаходу (корисної моделі) із зазначенням технічного результату, якого мають досягти. Суть винаходу (корисної моделі) в рефераті характеризують шляхом вільного викладу формули, переважно такого, при якому зберігаються всі суттєві ознаки кожного незалежного пункту. Реферат складають лише з інформаційною метою. Він не може братися до уваги з іншою метою, зокрема для тлумачення формули винаходу (корисної моделі) і визначення рівня техніки. Рекомендований обсяг тексту реферату становить до 1000 знаків. Математичні та хімічні формули, а також креслення можуть бути включені до реферату, якщо без них скласти реферат неможливо. Креслення, наведені в рефераті, мають бути виконані на окремому аркуші і додаватися до реферату. Реферат може містити деякі додаткові відомості, зокрема посилання на кількість незалежних і залежних пунктів формули винаходу (корисної моделі), графічних зображень, таблиць [20–28].

Особливості змісту заявки на винахід (корисну модель) щодо пристрою (Додаток В) передбачають зазначення таких ознак: наявність конструктивного (конструктивних) елемента (елементів); наявність зв'язків між елементами; взаємне розташування елементів; форму виконання елемента (елементів) або пристрою в цілому; форму виконання зв'язків між елементами; параметри та інші характеристики елемента (елементів) та їх взаємозв'язок; матеріал, з якого виготовлено елемент (елементи) або пристрій в цілому, середовище, що виконує функцію елемента, та інші характеристики [20–28].

Особливості змісту заявки на винахід (корисну модель) щодо речовини передбачають зазначення таких ознак [20–28]:

- для низькомолекулярних сполук – якісний склад (атоми певних елементів), кількісний склад (число атомів кожного елемента); зв'язок між атомами, взаємне розташування їх у молекулі, виражене хімічною структурною формулою, чи в кристалічній решітці;

- для високомолекулярних сполук – хімічний склад і структуру однієї ланки макромолекули, структуру макромолекули в цілому (лінійну, розгалужену), періодичність ланок, молекулярну масу, молекулярно-масовий розподіл, геометрію і стереометрію макромолекули, її кінцеві та бокові групи;

- для індивідуальних сполук з невизначеною структурою – фізико-хімічні та інші характеристики, у тому числі ознаки способу одержання, що дають змогу їх ідентифікувати;

- для індивідуальних сполук, що належать до об'єктів генетичної інженерії, – послідовність нуклеотидів (для фрагментів нуклеїнових кислот) або фізичну карту (для рекомбінантних нуклеїнових кислот і векторів), а також послідовність амінокислот, фізико-хімічні та інші характеристики, що дають змогу їх ідентифікувати;

- для характеристики композицій – якісний (інгредієнти) склад; кількісний (вміст інгредієнтів) склад; структуру композиції; структуру інгредієнтів.

Особливості змісту заявки на винахід щодо способу (Додаток Г) передбачають зазначення таких ознак: наявність дії або сукупності дій; порядок

виконання таких дій у часі (послідовно, одночасно, у різних сполученнях тощо); умови виконання дій: режим, використання речовин (вихідної сировини, реагентів, каталізаторів тощо), пристроїв (пристосувань, інструментів, обладнання тощо), штамів мікроорганізмів, культур клітин рослин чи тварин.

Порядок виконання практичного заняття

Завдання. Скласти навчальну заявку на винахід (корисну модель) та заяву про видачу патенту України на винахід (корисну модель). Об'єкт для оформлення заявки обрати самостійно (наприклад, спосіб, пристрій).

Контрольні запитання

1. Що таке винахід та корисна модель?
2. Що таке патент на винахід та патент на корисну модель і які строки їх дії?
3. Що може бути та що не можу бути об'єктом винаходу і корисної моделі?
4. Що надає патент його власнику?
5. Що таке заявка на видачу патенту на винахід (корисну модель) та які структурні елементи вона містить?
6. Яку інформацію містить заява про видачу патенту України на винахід (корисну модель)?
7. Яка структура опису заявка на видачу патенту на винахід (корисну модель)?
8. Що зазначається у формулі винаходу та рефераті?
9. Що таке аналог винаходу (корисної моделі)?
10. Які особливості змісту заявки на винахід (корисну модель) щодо пристрою, речовини та способу?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наукова бібліотека національного університету «Чернігівська політехніка». Пошукові системи наукової інформації [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://library2.stu.cn.ua/na_dopomogu_naukovcyu/poshukovi_ sistemi_naukovoi_informacii/

2. Дударєв, І.М., Кузьмін, О.В. Практикум з методології наукових досліджень : навч. посіб. Одеса : Олді+, 2023. 278 с.

3. Метод мозкового штурму [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://marketing-mmz.bitrix24.site/Metod_mozkovoho_shturmu/

4. Методологія наукових досліджень у галузі : практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. Уклад. : Н.І. Бурау, В.С. Антонюк, Д.О. Півторак. Електронні текстові дані (1 файл: 0,4 Мбайт). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 58 с.

5. Білецький, В.С. Методологія наукових досліджень технічних об'єктів та їх оптимізація : навч. посібник / В. С. Білецький ; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Київ : ФОП Халіков Руслан Халікович, 2023. 118 с.

6. Дударєв, І.М., Панасюк, С.Г., Краглик, О.М. (2022). Оптимізація рецептурних композицій піци. *Товарознавчий вісник, 1*(15), 328-340. https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-15-29

7. Dudarev, I., Kuzmin, O., Stukalska, N., Antonenko, A., Brovenko, T., Kovalenko, N., & Lebedenko, T. (2024). Using oat milk to reduce the caloric value of a functional mayonnaise sauce. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 23(1), 29-38. https://doi.org/10.17306/J.AFS.001184

8. Голубєва, К.М., Кашпур, О.Ф., Клюшин, Д.А. Чисельні методи (для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики, ОП «Системний аналіз») : навч. посіб. Київ : Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2022. 145 с.

9. Мармоза, А.Т. Практикум з математичної статистики : навч. посіб. Київ : Кондор, 2009. 264 с.

10. Чернелевський, Л.М., Перетятько, М.В., Соломчук, Л. М. Статистика у галузях харчової промисловості : теорія і практика : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2012. 331 с.

11. Експертні методи в автоматизованих системах керування : Формування та напрями використання експертних знань : [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Л.Д. Ярощук. 2-ге вид., допов. Електронні текстові дані (1 файл: 0,90 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 43 с.

12. Куць, В.Р., Столярчук, П.Г., Друзюк, В.М. Кваліметрія : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 282 с.

13. Самсонов, В.В., Сільвестров, А.М., Тачиніна, О.М. (2022). Методологія наукових досліджень та приклади її використання : навч. посібник. К. : НУХТ. 385 с.

14. Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни «Технології презентації результатів наукових досліджень» для підготовки доктора філософії очної форми навчання зі спеціальності 051 – «Економіка». Укладач: Н.Є. Гришко. Кременчук : Кременчуцький національний університет імені М. Остроградського, 2016. 30 с.

15. Ткаченко, О.Б., Каменева, Н.В., Тітлова, О.О. та ін. (2024). Основи сенсорного аналізу харчових продуктів : навч. посіб. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», Стереотип. 304 с.

16. Спеціальна інформаційна система УКРНОІВІ. URL: https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/simple/

17. Дударєв, І.М., Сай, В.А. (2023). SWOT-аналіз інфраструктури закладу ресторанного господарства на прикладі їдальні університету. *Товарознавчий вісник, 1*(16), 47-62. https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2023-17-4

18. Дударєв, І.М., Кузьмін, О.В., Тараймович, І.В., Панасюк, С.Г., Шемет, В.Я., Чемакіна, О.В., & Кузьмін, А.О. (2024). Крафтові харчові технології : розроблення, дослідження, інжиніринг. Одеса : Одлі+. 322 с.

19. Методологія та організація наукових досліджень [Текст] : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів третього (освітньонаукового) рівня освітньо-наукової програми «Галузеве машинобудування» галузі знань 13 Механічна інженерія спеціальності 133 Галузеве машинобудування денної форми навчання / уклад. І.М. Дударєв. Луцьк: ЛНТУ, 2021. 124 с.

20. Харитонова, О.І., Харитонова, Є.О., Ківалова, Т.С., Дмитришин, В.С., Кулініч, О. О., Романадзе, Л. Д. та ін. (2023). Право інтелектуальної власності. За ред. О.І. Харитонової. Київ : Юрінком Інтер. 540 с.

21. Навчально-методичний посібник для практичних та семінарських занять із дисципліни «Інтелектуальна власність» для студентів усіх спеціальностей денної та заочної форми навчання. (2019). Уклад. С. В. Надобко. Харків : ХДАДМ. 182 с.

22. Право інтелектуальної власності : підруч. / А.В. Аксютіна, Л.В. Межевська, О.В. Нестерцова-Собакарь та ін. ; за заг. ред. і передм. д-ра юрид наук, доц. Т.В. Ярошевської. Дніпро : Дніпроп. держ. ун-т внутр. справ, 2022. 336 с.

23. Винахід (корисна модель). [Електронний ресурс]: https://ukrpatent.org/uk/articles/inventions#1

24. Правила складання і подання заявки на винахід та заявки на корисну модель (Наказ Міністерства освіти і науки України від 22.01.2001, № 22).

25. Правила розгляду заявки на винахід та заявки на корисну модель (Наказ Міністерства освіти і науки України від 15.03.2002, № 197).

26. Положення про Державний реєстр патентів України на винаходи (Наказ Міністерства освітиі науки України від 12.04.2001, № 291).

27. Закон України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі». [Електронний ресурс]: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3687-12#Text

28. Білоусова, Н.О., Гаврушкевич, Н.В., Данильченко, М.А. та ін. (2021). Інтелектуальна власність та патентознавство : підручник. За ред. проф. П.М. Цибульова та доц. А.С. Ромашко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка». 374 с.

Додаток А

Бланк заяви про видачу патенту України на винахід (корисну модель)

(22) Дата подання заявки	Пріоритет	(51) МПК	ЕВ	(21) Номер заявки

(86) Реєстраційний номер та дата подання міжнародної заявки, установлені відомством-одержувачем
(87) Номер і дата міжнародної публікації міжнародної заявки

ЗАЯВА про видачу патенту України	Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України Державне підприємство „Український інститут інтелектуальної власності" вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601

Подаючи нижчезазначені документи, прошу (просимо) видати:
☐ патент України на винахід
☐ патент України на корисну модель

(71) Заявник(и)	Код за ЄДРПОУ (для українських заявників)
Луцький національний технічний університет вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018	**05477296**

(зазначається повне ім'я або найменування заявника(ів), його (їх) місце проживання або місцезнаходження та код держави згідно зі стандартом ВОІВ ST.3. Дані про місце проживання винахідників – заявників наводяться за кодом 72

Прошу (просимо) встановити пріоритет ☐ заявки ☐ пунктів формули винаходу
за заявкою № за датою:
☐ подання попередньої заявки в державі-учасниці Паризької конвенції (навести дані за кодами 31, 32, 33)
☐ подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку (навести дані за кодом (62)
☐ подання до Установи попередньої заявки (навести дані за кодом (66)

(31) Номер попередньої заявки	(32) Дата подання попередньої заявки	(33) Код держави подання попередньої заявки згідно зі стандартом ВОІВ СТ.3	(62) Номер та дата подання до Установи попередньої заявки, з якої вділено цю заявку	(66) Номер та дата подання до Установи попередньої заявки

(54) Назва винаходу (корисної моделі)
Спосіб виробництва багатошарових чипсів

(98) Адреса для листування **Клименко О. Д., вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018**

Телефон _____Телеграф_____Факс_____

(74) Повне ім'я та реєстраційний номер представника у справах інтелектуальної власності або повне ім'я іншої довіреної особи

[ ] Прошу (просимо) прискорити публікацію заявки

Перелік документів, що додаються	Кількість арк.	Кількість прим.
☐ опис винаходу	4	3
☐ формула винаходу	1	3
☐ креслення та інші ілюстративні матеріали		
☐ реферат	1	3
☐ документ про сплату збору за подання заявки	1	1
☐ документ, який підтверджує наявність підстав для зменшення збору або звільнення від сплати збору	1	1
☐ документ про депонування штампу		
☐ копія попередньої заявки, яка підтверджує право на пріоритет		
☐ переклад заявки українською мовою		
☐ документ, який підтверджує повноваження довіреної особи (довіреність)		
☐ інші документи:		
☐ міжнародний звіт про пошук		

Підстави щодо виникнення права на подання заявки і одержання патенту (без подання документів), якщо винахідник(и) не є заявником(ами):

☐ є документ про передачу права винахідником(ами) або роботодавцем(ями) правонаступнику(ам)

☐ є документ про право спадкування

(72) Винахідник(и) Винахідник(и) - заявник(и) (повне ім'я)	Місце проживання та код держави згідно зі стандартом ВОІВ ST. 3 (для іноземних осіб – тільки код держави)	Підпис(и) винахідника(ів)-заявника(ів)
Дударєв Ігор Миколайович	43005, м. Луцьк, вул. [redacted], буд. [redacted], кв. [redacted]	
Панасюк Світлана Григорівна	43026, м. Луцьк, вул. [redacted], буд. [redacted], кв. [redacted]	
Тараймович Ірина Володимирівна	43018, м. Луцьк, вул. [redacted], буд. [redacted], кв. [redacted]	

Я (ми) _____
(повне ім'я)

прошу (просимо) не згадувати мене (нас) як винахідника(ів) при публікації відомостей стосовно заявки на видачу патенту

Підпис(и) винахідника(ів) _____
_____

Підпис(и) заявника(ів)
Проректор з науково-педагогічної роботи **С.П. Шимчук**

Додаток Б
Приклад заявки (опис)

МПК A23B7/02, F26B3/06, A23L19/00
Спосіб виробництва багатошарових чипсів

Винахід відноситься до харчової промисловості, а саме до виробництва багатошарових чипсів з овочево-фруктової сировини та насіння різних культур.

Відомий спосіб виробництва яблучних чипсів, який передбачає миття та нарізування сировини на кружальці завтовшки 1–4 мм. Після нарізування проводять паротермічну обробку сировини за температури +75–85ºС протягом 20–40 с. Далі сировину сушать у дві стадії: на першій стадії сушіння проводять за температури +70–90ºС; на другій стадії – за температури +55–60ºС. Після сушіння готовий продукт охолоджують повітрям до температури +15–20ºС упродовж 10–25 хвилин і герметично упаковують [див. Патент України №73160, кл. A23B7/02, F26B3/06, 2012 р.].

Недоліком способу є те, що за температури сушіння сировини близько +90ºС відбувається втрата поживних речовин в сировині та її потемніння.

Відомий спосіб виробництва чипсів з груш, відповідно до якого груші миють, нарізують пластинками завтовшки 1–5 мм та проводять паротермічну обробку сировини за температури +70–85ºС упродовж 15–40 с. Після цього проводять сушіння сировини у дві стадії: на першій стадії за температури сушильного агента +63–85ºС; на другій стадії – за температури +55–60ºС. Після сушіння готовий продукт охолоджують до температури +15–20ºС упродовж 8–25 хвилин та герметично упаковують [див. Патент України №79242, кл. A23B7/02, 2013 р.].

Недоліком способу є те, що допускається широкий діапазон товщини нарізування груш. Пластинки груш із різною товщиною будуть нерівномірно сушитися та матимуть різну вологість після сушіння, що негативно впливатиме на якісні показники готового продукту.

Відомий спосіб виробництва морквяних чипсів, який передбачає калібрування, миття та очищення коренеплодів від шкірки. Після підготовчих операцій морква нарізується на пластинки завтовшки 1–10 мм та спрямовується на паротермічну обробку за температури +65–95ºС упродовж 70–300 с. Сушіння пластинок моркви проходить конвективним способом у дві стадії: на першій стадії температура сушильного агента +65–95ºС; на другій стадії – температура +50–60ºС. Після сушіння готовий продукт охолоджують до температури +15–20ºС [див. Патент України №111543, кл. A23B7/02, F26B3/02, A23L19/00, 2016 р.].

Недоліком способу є те, що допускається нарізування сировини на пластинки завтовшки 1–10 мм, а це зумовлює необхідність корегування режимів сушіння і, відповідно, зменшує продуктивність виробництва. Крім того, пластинки сировини різної товщини нерівномірно сушаться, що негативно впливає на якісні показники кінцевого продукту.

Найбільш близьким до запропонованого способу є спосіб виробництва сухих фруктових або овочевих чипсів, який передбачає калібрування, миття та очищення сировини. Після підготовчих операцій із сировиною здійснюють її нарізування спеціальним пристроєм на пластинки завтовшки 1–4 мм, які перед сушінням витримують 3–5 хвилин в 1% розчині кухонної солі з додаванням ароматичних спецій. Сушіння пластинок сировини проводять за температури не вище +80ºС до кінцевої вологості готового продукту 20%. Після цього готовий продукт фасують в герметичні пакети [див. Патент України №34365, кл. A23B7/02, 2008 р.].

Особливою органолептичною характеристикою чипсів, яка властива даному виду продуктів, є хрусткість. Ця характеристика вирізняє чипси з-поміж інших продуктів із сушених овочів та фруктів. У запропонованому способі кінцева вологість чипсів становить 20%. За такої вологості чипси не будуть хрусткими, що є недоліком даного способу.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення способу виробництва сухих фруктових або овочевих чипсів шляхом їх формування із декількох шарів овочево-фруктової сировини та насіння різних культур. Сформовані у такий спосіб багатошарові чипси із різними комбінаціями овочево-фруктової сировини та насіння різних культур не містять штучних добавок та мають смак і корисні властивості сушеної сировини, яка використовується для їх виробництва. Нарізування сировини на пластинки однакової товщини для основи багатошарових чипсів сприяє їх рівномірному сушінню. Крім того, за кінцевої вологості 6–8% багатошарові чипси є хрусткими, а температурний режим їх сушіння сприяє збереженню корисних речовин, які містяться в сировині.

Поставлена задача вирішується таким чином.

У способі виробництва сухих фруктових або овочевих чипсів, що передбачає миття, очищення від шкірки та нарізування на пластинки сировини з подальшим сушінням пластинок сировини та фасуванням готового продукту в герметичні пакети, згідно з корисною моделлю, чипси формують із трьох шарів сировини, причому основу чипсів, яку отримують після паротермічної обробки пластинок овочів чи фруктів товщиною 1–3 мм за температури +85–95ºС упродовж 120–180 с, панірують з одного боку насінням, що подрібнюють до величини фракцій менше 2 мм, на якому формують шар товщиною 2–3 мм із натертих овочів, що проходять паротермічну обробку за температури +85–95ºС упродовж 120–180 с, або натертих фруктів, крім цього, перед сушінням сформований тришаровий напівфабрикат спресовують під тиском 2–5,5 кПа.

Заявлений спосіб здійснюється таким чином.

Підготовка сировини для виробництва багатошарових чипсів залежить від її виду. В якості сировини для багатошарових чипсів можуть використовуватися: овочі (гарбузи, кабачки, морква), фрукти (груші, яблука) та насіння різних культур (льону-довгунця, льону олійного). Овочі та фрукти миють та очищають від шкірки за потреби (з моркви обов’язково знімають шкірку). Очищене від домішок насіння подрібнюють до величини фракцій менше 2 мм. Для першого шару багатошарових чипсів (основи чипсів) використовують овочі або фрукти,

які нарізують пластинками завтовшки 1–3 мм. Моркву рекомендується нарізувати на пластинки завтовшки 1 мм, а гарбузи, груші, кабачки та яблука – завтовшки 3 мм. Після нарізування пластинки сировини проходять паротермічну обробку за температури +85–95ºС упродовж 120–180 с. Рекомендується тривалість паротермічної обробки сировини: моркви – 180 с; гарбузів, груш, кабачків та яблук – 120 с. Відразу після паротермічної обробки пластинки сировини (основу чипсів) панірують з одного боку в подрібненому насінні. Таким чином формують другий шар чипсів із подрібненого насіння. Короткочасна паротермічна обробка основи чипсів підвищує липкість сировини, тому подрібнене насіння краще прилипає до неї. Паралельно труть овочі (гарбузи, кабачки, моркву) або фрукти (груші, яблука) до рекомендованих розмірів частинок натертої сировини: довжина – до 10 мм; ширина – до 5 мм; товщина – до 1 мм. Після цього проводять паротермічну обробку натертих овочів за температури +85–95ºС упродовж 120–180 с. Рекомендується тривалість паротермічної обробки натертої сировини: моркви – 180 с; гарбузів та кабачків – 120 с. Натерті фрукти (груші, яблука) не потребують паротермічної обробки. Далі над шаром подрібненого насіння (другий шар чипсів) формують третій шар товщиною 2–3 мм із натертих овочів, що пройшли паротермічну обробку, або натертих фруктів. Сформований тришаровий напівфабрикат спресовують під тиском 2–5,5 кПа, що забезпечує “склеювання” шарів сировини. Після спресовування тришаровий напівфабрикат проходить конвективне сушіння за температури +63–70ºС до кінцевої вологості 6–8%. Після сушіння готовий продукт (багатошарові чипси) охолоджують до температури +15–20ºС та фасують в герметичні пакети або іншу тару.

Реалізація запропонованого способу виробництва багатошарових чипсів дозволяє отримати продукт із різними комбінаціями овочево-фруктової сировини та насіння різних культур, що не містить штучних добавок та має смак і корисні властивості сушеної сировини, яка використовується для його виробництва. Крім цього, режими виробництва багатошарових чипсів сприяють збереженню корисних речовин, які містяться в сировині.

Формула винаходу

Спосіб виробництва багатошарових чипсів, що передбачає миття, очищення від шкірки та нарізування на пластинки сировини з подальшим сушінням пластинок сировини та фасуванням готового продукту в герметичні пакети, який **відрізняється** тим, що чипси формують із трьох шарів сировини, причому основу чипсів, яку отримують після паротермічної обробки пластинок овочів чи фруктів товщиною 1–3 мм за температури +85–95ºС упродовж 120–180 с, панірують з одного боку насінням, що подрібнюють до величини фракцій менше 2 мм, на якому формують шар товщиною 2–3 мм із натертих овочів, що проходять паротермічну обробку за температури +85–95ºС упродовж 120–180 с, або натертих фруктів, крім цього, перед сушінням сформований тришаровий напівфабрикат спресовують під тиском 2–5,5 кПа.

Спосіб виробництва багатошарових чипсів

Винахід відноситься до харчової промисловості, а саме до виробництва багатошарових чипсів з овочево-фруктової сировини та насіння різних культур. Підготовка сировини для виробництва багатошарових чипсів залежить від її виду. Овочі та фрукти миють, очищають від шкірки за потреби, нарізують пластинками завтовшки 1–3 мм. Очищене від домішок насіння подрібнюють до величини фракцій менше 2 мм. Після нарізування пластинки сировини проходять паротермічну обробку за температури +85–95ºС упродовж 120–180 с. Відразу після паротермічної обробки пластинки сировини панірують з одного боку в подрібненому насінні. Паралельно труть овочі або фрукти та проводять паротермічну обробку овочів за температури +85–95ºС упродовж 120–180 с. Натерті фрукти не потребують паротермічної обробки. Далі над шаром подрібненого насіння формують третій шар товщиною 2–3 мм із натертих овочів або фруктів. Сформований тришаровий напівфабрикат спресовують під тиском 2–5,5 кПа та сушать за температури +63–70ºС до кінцевої вологості 6–8%. Після сушіння готовий продукт охолоджують до температури +15–20ºС та фасують в герметичні пакети або іншу тару. Реалізація запропонованого способу виробництва багатошарових чипсів дозволяє отримати продукт із різними комбінаціями овочево-фруктової сировини та насіння різних культур, що має смак і корисні властивості сушеної сировини (1 н.п. ф-ли).

Додаток В

Опис до патенту на корисну модель (пристрій)

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140926** (13) **U**

(51) МПК (2020.01)
G01F 11/00
G01F 11/18 (2006.01)
B65B 1/30 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2019 09833**
(22) Дата подання заявки: **16.09.2019**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.03.2020**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.03.2020, Бюл.№ 5**

(72) Винахідник(и):
Дударєв Ігор Миколайович (UA)
(73) Власник(и):
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ.
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018 (UA)

(54) ОБ'ЄМНИЙ ДОЗАТОР ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

(57) Реферат:

Об'ємний дозатор для сипких матеріалів містить бункер, привод та корпус, всередині якого на приводному валу встановлено ротор із мірною камерою, в якій розташовано поршень. Мірна камера виконана у вигляді наскрізного поперечного циліндричного каналу. При цьому діаметр циліндричного каналу мірної камери рівний діаметрам завантажувального та вивантажувального отворів корпусу, що розташовані відповідно зверху та знизу на циліндричній поверхні корпусу. Крім цього, поршень виконано з можливістю зворотно-поступального руху в межах циліндричного каналу мірної камери, причому рух поршня обмежено обмежувачами, які розташовані на кінцях циліндричного каналу мірної камери.

UA 140926 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може бути застосована для дозування сипких матеріалів у хімічній, фармацевтичній, переробній, харчовій та інших галузях промисловості.

Відомий об'ємний дозатор для сипкої речовини, що містить бункер, нерухомий стіл із вивантажувальною лійкою та мірки, розташовані на рухомому столі таким чином, що їх горловини мають можливість контакту з бункером, а днища - з нерухомим столом [див. Патент України № 64909, кл. B65B 1/06, 2011 р.].

До недоліку об'ємного дозатора для сипкої речовини можна віднести те, що його конструкція не є компактною, і, відповідно, має значну металомісткість.

Відомий дозатор сипких матеріалів, що містить бункер та циліндричний барабан, робоча поверхня якого виконана з прорізами та обертається навколо втулки з лопатями, вісь якої виконана з ексцентриситетом відносно робочої поверхні циліндричного барабана. Крім цього, дозатор сипких матеріалів містить вивантажувальний патрубок із скребком [див. Патент України № 44993, кл. G01F 11/00, 2009 р.].

До недоліку дозатора сипких матеріалів можна віднести те, що під час його роботи сипкий матеріал може попадати у внутрішній простір циліндричного барабана, що може ускладнити роботу дозатора.

Найбільш близьким до запропонованої корисної моделі є об'ємний дозатор, що містить бункер із лопатевим шнеком, привод та корпус, всередині якого на приводному валу встановлено ротор. Ротор містить мірні камери, в яких розташовано поршні, що з'єднані з ексцентриком за допомогою кривошипа [див. Патент України № 36507, кл. G01F 11/00, B65B 1/30, 2008 р.].

Недоліком об'ємного дозатора є складна конструкція приводу поршнів, що зумовлює значну металомісткість дозатора, ускладнює регулювання робочого об'єму мірної камери та обслуговування дозатора.

В основу корисної моделі поставлена задача шляхом зміни конструкції об'ємного дозатора отримати новий технічний результат, який полягає у тому, що конструкція ротора містить одну мірну камеру, в який розташований поршень, що виконаний із можливістю зворотно-поступального руху в межах циліндричного каналу мірної камери під дією власної ваги та ваги порції сипкого матеріалу. Відповідно, для забезпечення зворотно-поступального руху поршня не потрібен привод, що спрощує конструкцію, полегшує її експлуатацію та зменшує її металомісткість.

Поставлена задача вирішується у відомому об'ємному дозаторі, що містить бункер, привод та корпус, всередині якого на приводному валу встановлено ротор із мірною камерою, в якій розташовано поршень, згідно з корисною моделлю, мірна камера виконана у вигляді наскрізного поперечного циліндричного каналу, причому діаметр циліндричного каналу мірної камери рівний діаметрам завантажувального та вивантажувального отворів корпусу, що розташовані відповідно зверху та знизу на циліндричній поверхні корпусу, крім того поршень виконано з можливістю зворотно-поступального руху в межах циліндричного каналу мірної камери, причому рух поршня обмежено обмежувачами, які розташовані на кінцях циліндричного каналу мірної камери.

На приведених кресленнях зображено об'ємний дозатор для сипких матеріалів. На фіг. 1 - об'ємний дозатор для сипких матеріалів; на фіг. 2 - ротор, вид зверху; на фіг. 3 - об'ємний дозатор для сипких матеріалів (переріз А - А), коли мірна камера розташована вертикально; на фіг. 4 - об'ємний дозатор для сипких матеріалів (переріз А - А), коли мірна камера розташована горизонтально.

Об'ємний дозатор для сипких матеріалів містить бункер 1, привод (на кресленнях не показано) та корпус 2, всередині якого розташовано ротор 3. Ротор 3 виконано із можливістю обертання від приводного вала 4, на якому він встановлений. Корпус 2 виконано роз'ємним, циліндричної форми, з двома торцевими кришками 5 та 6. Кришка 5 виконана глухою, а кришка 6 виконана з отвором під приводний вал 4. Зверху на циліндричній поверхні корпусу 2 передбачено завантажувальний отвір 7, над яким встановлено бункер 1. Знизу на циліндричній поверхні корпусу 2 передбачено вивантажувальний отвір 8, до якого приєднано вивантажувальний патрубок 9. Ротор 3, що має циліндричну форму, розташований горизонтально, причому величина зазору між внутрішньою циліндричною поверхнею корпусу 2 та ротором 3 менша за розміри частинок сипкого матеріалу, що дозується.

Ротор 3 містить мірну камеру 10, що виконана у вигляді наскрізного поперечного циліндричного каналу. Діаметр циліндричного каналу мірної камери 10 рівний діаметрам завантажувального 7 і вивантажувального 8 отворів корпусу 2. Ротор 3 у корпусі 2 розташовано таким чином, що в момент, коли мірна камера 10 перебуває у вертикальному положенні, то

верхній кінець її циліндричного каналу співпадає із завантажувальним отвором 7 корпусу 2, а нижній кінець її циліндричного каналу співпадає із вивантажувальним отвором 8 корпусу 2. На кінцях циліндричного каналу мірної камери 10 розташовані обмежувачі 11. Всередині мірної камери 10 розташовано поршень 12 циліндричної форми, що виконаний із можливістю зворотно-поступального руху в межах циліндричного каналу мірної камери 10 під дією власної ваги та ваги порції сипкого матеріалу. Рух поршня 12 в межах циліндричного каналу мірної камери 10 обмежується обмежувачами 11. Величина зазору між поршнем 12 та внутрішньою поверхнею мірної камери 10 така, що унеможливлено проходження частинок сипкого матеріалу між ними. Об'ємний дозатор для сипких матеріалів комплектується набором поршнів 12 однакового діаметра, але різної довжини, причому поршні 12 виконано із довжиною, що менша довжини мірної камери 10.

Об'ємний дозатор для сипких матеріалів працює наступним чином.

Під час роботи об'ємного дозатора для сипких матеріалів у бункер 1 завантажується сипкий матеріал. Внаслідок обертання ротора 3 від привода мірна камера 10 змінює своє положення. У проміжок часу, коли один кінець циліндричного каналу мірної камери 10 співпадає із завантажувальним отвором 7 корпусу 2, сипкий матеріал під власною вагою з бункера 1 через завантажувальний отвір 7 корпусу 2 надходить у мірну камеру 10. При цьому під дією власної ваги, а також ваги сипкого матеріалу, поршень 12 рухається циліндричним каналом мірної камери 10 вниз до обмежувачів 11. Таким чином відбувається заповнення об'єму мірної камери 10 над поршнем 12 сипким матеріалом, тобто формується порція сипкого матеріалу необхідного об'єму. Внаслідок подальшого обертання ротора 3 припиняється надходження сипкого матеріалу у мірну камеру 10, оскільки кінець її циліндричного каналу виходить із зони, де він співпадає із завантажувальним отвором 7 корпусу 2.

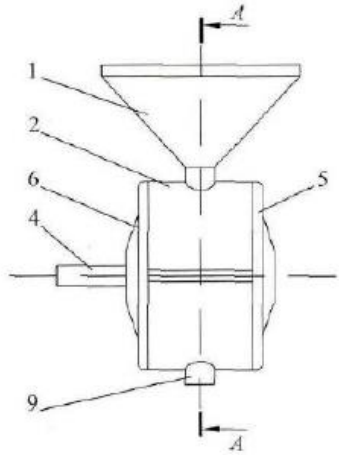
Внаслідок подальшого обертання ротора 3 частина мірної камери 10, де перебуває порція сипкого матеріалу, опиняється внизу, тобто сипкий матеріал опиняється під поршнем 12. У проміжок часу, коли кінець циліндричного каналу мірної камери 10 співпадає із вивантажувальним отвором 8 корпусу 2, сипкий матеріал під дією власної ваги, а також внаслідок тиску поршня 12 вивантажується із мірної камери 10 через вивантажувальний патрубок 9. У цей же проміжок часу, коли поршень 12 рухається вниз циліндричним каналом мірної камери 10, зверху відбувається завантаження у мірну камеру 10 нової порції сипкого матеріалу, оскільки другий кінець циліндричного каналу мірної камери 10 співпадає із завантажувальним отвором 7 корпусу 2. Таким чином, одночасно з однієї частини мірної камери 10, що перебуває у нижньому положенні, порція сипкого матеріалу, яка під поршнем 12, вивантажується, а у другій частині мірної камери 10, що перебуває у верхньому положенні, формується над поршнем 12 нова порція сипкого матеріалу. Далі під час обертання ротора 3 процес дозування порцій сипкого матеріалу повторюється.

Об'єм порції сипкого матеріалу в мірній камері 10, тобто ступінь її заповнення, можна регулювати частотою обертання ротора 3 або ж розміром поршня 12. Для зменшення об'єму порції сипкого матеріалу необхідно збільшувати частоту обертання ротора 3 або ж вибирати поршень 12, що має більшу довжину. І навпаки, для збільшення об'єму порції сипкого матеріалу необхідно зменшувати частоту обертання ротора 3 або ж вибирати поршень 12, що має меншу довжину.

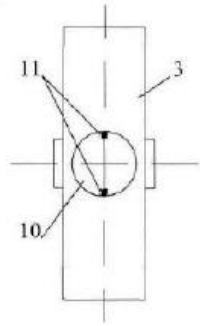
Запропоноване конструктивне рішення об'ємного дозатора для сипких матеріалів дозволяє спростити конструкцію, зменшити її металомісткість, а також полегшити її експлуатацію.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

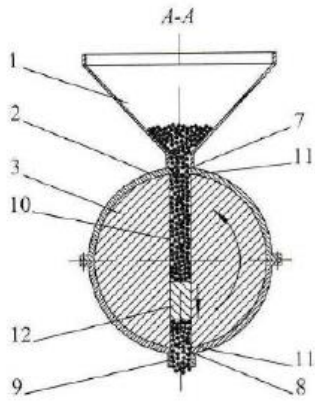
Об'ємний дозатор для сипких матеріалів, що містить бункер, привод та корпус, всередині якого на приводному валу встановлено ротор із мірною камерою, в якій розташовано поршень, який **відрізняється** тим, що мірна камера виконана у вигляді наскрізного поперечного циліндричного каналу, причому діаметр циліндричного каналу мірної камери рівний діаметрам завантажувального та вивантажувального отворів корпусу, що розташовані відповідно зверху та знизу на циліндричній поверхні корпусу, крім того, поршень виконано з можливістю зворотно-поступального руху в межах циліндричного каналу мірної камери, причому рух поршня обмежено обмежувачами, які розташовані на кінцях циліндричного каналу мірної камери.



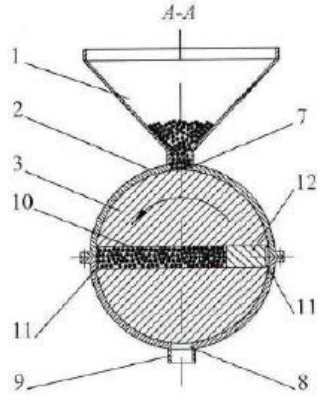
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток Г

Опис до патенту на корисну модель (спосіб)

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **126445** (13) **U**

(51) МПК (2018.01)
B01F 3/18 (2006.01)
B01F 7/00

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2017 12675**

(22) Дата подання заявки: **20.12.2017**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.06.2018**

(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.06.2018, Бюл.№ 12**

(72) Винахідник(и):
Дударєв Ігор Миколайович (UA)

(73) Власник(и):
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018 (UA)

(54) СПОСІБ ПОРЦІЙНОГО ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

(57) Реферат:

Спосіб порційного змішування сипких матеріалів включає дозування компонентів, формування багатошарового потоку компонентів шляхом почергового накладання шарів компонентів один на другий та спрямування утвореного багатошарового потоку компонентів на змішування. Перед змішуванням безперервно формують порції невеликого об'єму з багатошарового потоку компонентів. При цьому в кожній порції забезпечують необхідне співвідношення компонентів, після чого здійснюють змішування компонентів окремо у кожній порції з подальшим об'єднанням порцій готової суміші.

UA 126445 U

Корисна модель належить до способів змішування різноманітних сипких матеріалів у сільському господарстві, переробній, харчовій, металургійній, хімічній та інших галузях промисловості, а також у будівництві.

Відомий спосіб змішування сипких матеріалів, що передбачає операції дозування компонентів суміші, їх подачу у змішувальну камеру та спрямування суміші в ємкість готової продукції. У відповідності до способу дози компонентів для однієї порції суміші, відміряні ваговим способом, завантажують в циліндричні ємкості дозуючого пристрою. Площа перерізу циліндричних ємкостей пропорційна ваговій частці відповідного компонента в суміші. Під час роботи приводу стінки циліндричних ємкостей рухаються вниз і всі компоненти одночасно під дією сили ваги пересипаються через них і у вигляді кільцевих потоків різного діаметра падають вниз та перемішуються в змішувальній камері, з якої надходять в ємкість готової продукції [див. Патент України № 110488, кл. B01F 11/00, B01F 7/16, 2016 р.].

Недоліком способу є періодичність процесу змішування компонентів, що ускладнює його застосування в потокових технологічних лініях. Крім того, для змішування сипких матеріалів, що мають різні фізико-механічні властивості, зокрема щільність, необхідно змінювати ємкості дозуючого пристрою, щоб через площі їх перерізів забезпечити задане співвідношення компонентів у суміші. Усе зазначене знижує продуктивність обладнання, що реалізує цей спосіб змішування, та обмежує використання способу.

Відомий також спосіб порційного змішування сипких матеріалів, який здійснюють за допомогою пропорційного шнекового змішувача, що містить розділену на секції ємкість та збірний шнек. У нижніх частинах секцій розташовані дозуючі шнеки. Відповідно до способу змішування, що реалізує змішувач, сипкі матеріали (компоненти) із кожної секції ємкості у необхідному співвідношенні за допомогою дозуючих шнеків завантажують у збірний шнек, в якому їх змішують і готову суміш вивантажують для подальшого використання [див. Поперечний А.М. Процеси та апарати харчових виробництв: підручник /А.М. Поперечний, О.І. Черевко, В.Б. Гаркуша, Н.В. Кирпиченко, Н.А. Ласкіна; за ред. Поперечного А.М. - К.: Центр учбової літератури, 2007. - 304 с. (стор. 125)].

Недоліком способу змішування є одночасне змішування великого об'єму компонентів, що призводить до нерівномірного їх розподілу за об'ємом суміші. Крім того, почергове введення компонентів вздовж збірного шнека зумовлює різну тривалість їх змішування, що також погіршує якість суміші.

Найбільш близьким до запропонованої корисної моделі є спосіб змішування сипких матеріалів, який здійснюють за допомогою змішувача сипких матеріалів, що містить бункер з відсіками, який розташований над транспортером із транспортною дошкою, а також змішувальний пристрій шнекового типу. Відповідно до способу змішування, що реалізує змішувач, сипкі матеріали (компоненти) завантажують у різні відсіки бункера, з яких у заданому співвідношенні за допомогою транспортера подають на транспортну дошку, тобто компоненти дозують. На транспортній дошці формують багатошаровий потік компонентів шляхом почергового накладання шарів компонентів один на другий вздовж транспортера. Утворений багатошаровий потік компонентів за допомогою транспортера спрямовують із транспортної дошки у змішувальний пристрій для змішування за допомогою шнека. Готову суміш із змішувального пристрою вивантажують для подальшого використання [див. Патент України № 99264, кл. B01F 13/00, 2015 р.].

Недоліком способу змішування є одночасне змішування великого об'єму компонентів, що не дозволяє забезпечити їх рівномірний розподіл за об'ємом готової суміші.

Необхідність розроблення нового способу змішування сипких матеріалів обумовлена нерівномірністю розподілу компонентів за об'ємом сумішей, що одержані за реалізації відомих способів змішування, відповідно, якість готових сумішей низька.

В основу корисної моделі поставлено задачу забезпечити необхідну послідовність технологічних операцій під час змішування сипких матеріалів (компонентів), щоб здійснити їх порційне змішування, а це б дозволило одержати суміш із рівномірним розподілом компонентів за її об'ємом.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі порційного змішування сипких матеріалів, що передбачає дозування компонентів, формування багатошарового потоку компонентів шляхом почергового накладання шарів компонентів один на другий та спрямування утвореного багатошарового потоку компонентів на змішування, згідно з корисною моделлю, перед змішуванням безперервно формують порції невеликого об'єму з багатошарового потоку компонентів, причому в кожній порції забезпечують необхідне співвідношення компонентів, після чого здійснюють змішування компонентів окремо у кожній порції з подальшим об'єднанням порцій готової суміші.

Суть запропонованого способу порційного змішування сипких матеріалів пояснюється на приведених схемах. На фіг. 1 - схематично зображено послідовність технологічних операцій запропонованого способу порційного змішування сипких матеріалів; на фіг. 2 - схематично зображено технологічну лінію, що реалізує запропонований спосіб порційного змішування сипких матеріалів.

Спосіб порційного змішування сипких матеріалів здійснюють наступним чином.

Із відсіків бункера 1 за допомогою дозаторів 2 сипкі матеріали (компоненти) дозують і подають у заданому співвідношенні на транспортер 3. На транспортері 3 формують багатошаровий потік компонентів шляхом почергового накладання шарів компонентів один на другий вздовж транспортера 3. Якщо виділити за довжиною транспортера 3 з багатошарового потоку компонентів довільний об'єм загального шару, що складається з розташованих один над другим шарів компонентів, які незмішані, то в цьому об'ємі забезпечено необхідне співвідношення компонентів. Утворений багатошаровий потік компонентів (кількість шарів потоку рівна кількості компонентів і, відповідно, кількості відсіків бункера 1) за допомогою транспортера 3 спрямовують на змішування у спіральний змішувач 4.

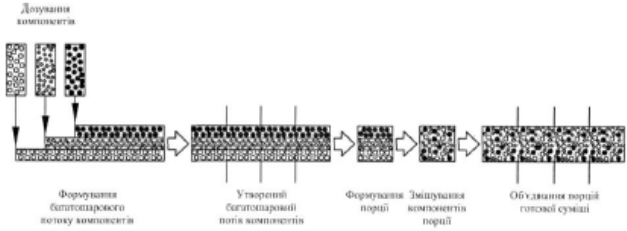
Перед змішуванням у спіральному змішувачі 4 безперервно формують порції невеликого об'єму (об'єм порцій корегують частотою обертання спірального змішувача 4) з багатошарового потоку компонентів, причому в кожній порції забезпечують необхідне співвідношення компонентів за рахунок того, що кожну порцію відокремлюють з багатошарового потоку компонентів, де забезпечено таке співвідношення. Далі на витках спірального змішувача 4 здійснюють змішування компонентів окремо у кожній порції. Змішування компонентів у кожній порції окремо дозволяє досягнути рівномірного розподілу компонентів за об'ємом порції. Після змішування здійснюють об'єднання порцій готової суміші, що сходять з останнього витка спірального змішувача 4 у накопичувальну ємкість 5.

Усі технологічні операції виконують відомим обладнанням.

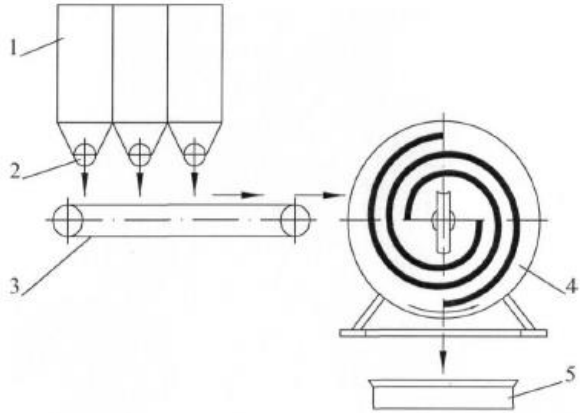
Реалізація запропонованого способу порційного змішування сипких матеріалів дозволить забезпечити безперервне одержання багатокомпонентних сумішей із рівномірним розподілом компонентів за об'ємом суміші.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб порційного змішування сипких матеріалів, що включає дозування компонентів, формування багатошарового потоку компонентів шляхом почергового накладання шарів компонентів один на другий та спрямування утвореного багатошарового потоку компонентів на змішування, який **відрізняється** тим, що перед змішуванням безперервно формують порції невеликого об'єму з багатошарового потоку компонентів, причому в кожній порції забезпечують необхідне співвідношення компонентів, після чого здійснюють змішування компонентів окремо у кожній порції з подальшим об'єднанням порцій готової суміші.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Навчально-методичне видання

Методологія наукових досліджень, математичне моделювання та оптимізація [Текст] : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти освітньо-наукової програми «Харчові технології» галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G13 Харчові технології денної форми навчання / уклад. І. М. Дударєв. Луцьк : ЛНТУ, 2026. 120 с.

Комп’ютерний набір та верстка: І. М. Дударєв.

Луцький національний технічний університет
Кафедра харчових технологій та хімії
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75