

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Луцький національний технічний університет  
Національний університет харчових технологій



ЛУЦЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ



**І. М. Дударєв, О. В. Кузьмін**

# **ПРАКТИКУМ З МЕТОДОЛОГІЇ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**Навчальний посібник**

Одеса • 2023 • Олді+

# ЗМІСТ

УДК 001.891(075.8)  
Д81

## Автори:

Дударєв Ігор Миколайович, Кузьмін Олег Володимирович

## Рецензенти:

**Ю. В. Березовський**, доктор технічних наук, доцент, Херсонський національний технічний університет;

**О. А. Мікуліч**, доктор технічних наук, професор, Луцький національний технічний університет;

**В. П. Хорольський**, доктор технічних наук, професор, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

*Рекомендовано до друку рішенням Вчених рад  
Луцького національного технічного університету  
(протокол № 10 від 27 квітня 2023 року)  
та Національного університету харчових технологій  
(протокол № 9 від 20 квітня 2023 року)*

## Дударєв І. М.

Д81 Практикум з методології наукових досліджень : навч. посіб. /  
І. М. Дударєв, О. В. Кузьмін. – Одеса : Олді+, 2023. – 278 с.  
ISBN 978-966-289-722-7

Навчальний посібник призначено для забезпечення практичних занять з дисципліни «Методологія наукових досліджень» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти. Метою цього видання є допомога здобувачам в освоенні методів і технологій наукових досліджень у галузі харчових технологій та підготовка до самостійного виконання наукової роботи. Навчальний посібник містить стислі теоретичні відомості, необхідні для виконання практичних завдань, приклади виконання завдань і завдання для самостійної роботи. Розділи практикуму присвячені загальним питанням методології наукових досліджень, оформленню, підготовленню до публікації та презентації результатів наукових досліджень, також розглянуті методи наукового дослідження та оброблення експериментальних даних, особлива увага приділена математичному моделюванню та оптимізації в харчових технологіях.

УДК 001.891(075.8)

ISBN 978-966-289-722-7

© І. М. Дударєв, О. В. Кузьмін, 2023

ПЕРЕДМОВА ..... 5

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ

НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ..... 7

1.1 Етапи наукового дослідження ..... 7

1.2 Пошук, оброблення та аналіз інформації ..... 18

1.3 Оформлення цитувань ..... 22

1.4 Оформлення джерел наукової інформації ..... 32

1.5 Авторський профіль та ідентифікатор дослідника,  
імпаکت-фактор журналу ..... 49

## РОЗДІЛ 2

### ОФОРМЛЕННЯ, ПІДГОТОВЛЕННЯ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

ТА ПРЕЗЕНТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ..... 60

2.1 Оформлення результатів досліджень ..... 60

2.2 Підготовлення до публікації результатів досліджень ..... 81

2.3 Презентація результатів досліджень ..... 89

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

ТА ОБРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ..... 94

3.1 Методи експертного оцінювання ..... 94

3.2 Визначення кваліметричних показників  
харчового продукту ..... 109

3.3 Побудова «дерева властивостей» ..... 126

3.4 Метод мозкового штурму та SWOT-аналіз ..... 135

3.5 Статистичні ряди розподілу та їх характеристики ..... 153

3.6 Похибки вимірювань. Оброблення результатів  
прямих та непрямих вимірювань ..... 164

3.7 Перевіряння статистичних гіпотез ..... 179

3.8 Дисперсійний аналіз ..... 185

3.9 Кореляційний аналіз ..... 194

РОЗДІЛ 4	
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ	205
4.1 Математичний метод планування експерименту	205
4.2 Класичний метод оптимізації. Метод множників Лагранжа	214
4.3 Слабкі критерії оптимальності. Множина Парето	229
4.4 Математичне програмування	237
4.5 Симплекс-метод	250
ДОДАТКИ	262
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	268

## ПЕРЕДМОВА



На сьогодні в університетах для здобувачів вищої освіти створюються необхідні умови для науково-дослідної роботи, що є однією із важливих форм навчального процесу. Усе більше випускників закладів вищої освіти стають науковцями, що дає їм змогу реалізувати свій науково-технічний і творчий потенціал, самостійно визначати та розв'язувати проблеми, удосконалювати та розробляти інноваційні харчові продукти і технології їх виробництва. Наукова діяльність стає частиною їхньої професійної діяльності, оскільки вони безпосередньо стикаються з наукою, працюючи керівниками виробничих підрозділів підприємств харчової галузі та закладів ресторанного господарства.

В Україні наукова діяльність регламентується Законом України «Про наукову і науково-технічну діяльність», який є основою цілеспрямованої політики держави у забезпеченні використання досягнень вітчизняної та світової науки і техніки для задоволення соціальних, економічних, культурних та інших потреб населення. Рівень розвитку науки і техніки є визначальним чинником прогресу суспільства, підвищення добробуту громадян, їх духовного та інтелектуального зростання, що вимагає від держави пріоритетної підтримки розвитку науки, як джерела економічного зростання та невід'ємної частини національної культури та освіти.

Закон України «Про вищу освіту» передбачає, що наукова, науково-технічна та інноваційна діяльність у закладах вищої освіти є невід'ємною складовою освітньої діяльності і провадиться з метою інтеграції наукової, освітньої і виробничої діяльності у системі вищої освіти. Це передбачає здобуття нових наукових знань шляхом проведення наукових досліджень та їх спрямування на створення і впровадження нових конкурентоспроможних технологій, видів техніки, матеріалів тощо для забезпечення інноваційного розвитку суспільства, підготовки фахівців інноваційного типу.

Розвиток харчових технологій та ресторанного бізнесу в Україні відбувається, зокрема, шляхом розроблення та впровадження інноваційних технологій і наукових досягнень у практику, а також активізації просування національної інноваційної продукції на світовий

ринок. Це потребує наявності таких фахівців, які могли б знаходити оптимальні рішення у складних нестабільних умовах економічних відносин, вміти кваліфіковано самостійно оцінювати й вирішувати поточні та стратегічні проблеми харчової галузі та сфери громадського харчування. Отже, вивчення дисципліни «Методологія наукових досліджень» ставить за мету надання здобувачам вищої освіти необхідних знань щодо технології наукових досліджень, підготовки їх до самостійного виконання наукової роботи, ознайомлення здобувачів з методами наукових досліджень та оброблення і оптимізації результатів досліджень. Важливим також є ознайомлення здобувачів із вимогами щодо оформлення та публікації результатів досліджень, а також їх презентації на наукових заходах та для цільової аудиторії.

Опанування цього практикуму, відповідно до обраного напрямку наукового дослідження, дозволить здобувачу: отримати навички пошуку, оброблення та аналізу наукової інформації, а також оформлення цитувань; отримати навички створення авторського профілю в наукометричних базах та визначення наукометричних показників; навчитися обирати тему досліджень, обґрунтовувати її актуальність, формулювати мету дослідження, визначати завдання, об'єкт та предмет дослідження, вибирати методи проведення досліджень, проводити оброблення, аналіз та інтерпретацію результатів досліджень, визначати наукову новизну та практичне значення результатів досліджень; навчитися оформляти та презентувати результати власних досліджень; отримати навички використання методів математичного моделювання та оптимізації в наукових дослідженнях та професійній діяльності.

Усі отримані знання та навички здобувачі зможуть застосувати під час виконання курсових робіт та кваліфікаційної роботи, в яких обов'язковою складовою є проведення власних наукових досліджень, а також їх використовувати в подальшій професійній діяльності в галузі харчових технологій та ресторанного бізнесу для розроблення інноваційної продукції та технологій.

Навчальний посібник «Практикум з методології наукових досліджень» призначено для підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 181 «Харчові технології».

## РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ



### 1.1 ЕТАПИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

У процесі наукового дослідження відбувається всебічне вивчення певного об'єкта, процесу чи явища із використанням наукових методів, що спрямоване на отримання та систематизацію нових знань про них і встановлення можливості їх використання в діяльності людей.

**Етапи наукового дослідження [1]:**

- **Вибір теми та обґрунтування її актуальності.** 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.

#### Приклад 1.1

Тема: «Удосконалення технології формованих картопляних чипсів підвищеної харчової цінності» [2]

#### Приклад 1.2

Актуальність теми: «Удосконалення технології низькокалорійного майонезу з рослинною сировиною»

У закладах ресторанного господарства пропонується широкий асортимент кулінарної продукції для задоволення смаків і уподобань клієнтів. Особливий смак та аромат стравам надають соуси з різноманітними інгредієнтами. Соуси подаються до м'ясних і рибних страв, макаронів, овочів, салатів, птиці, круп'яних і солодких страв. Властивості та складові соусів дозволяють зробити страви більш соковитими та привабливими за зовнішнім виглядом, покращити їх смак. Асортимент соусів різноманітний, їх класифікують за способом приготування, за кольором,

температурою подавання та консистенцією. Найбільш поширеним соусом є майонез. Все більшого поширення серед різних верств населення набуває здоровий спосіб життя, основним елементом якого є здорове харчування. Здорове харчування передбачає споживання продуктів із низьким вмістом жиру та збагачених корисними мінеральними речовинами та вітамінами. Отже, важливим напрямом удосконалення майонезу є зменшення калорійності, в першу чергу, за рахунок зменшення вмісту жиру, збільшення вмісту корисних мінеральних речовин та покращення смакових властивостей із забезпеченням необхідної консистенції. Тому подальші дослідження з удосконалення майонезу мають бути спрямовані в напрямі зменшення вмісту жиру в соусі та збагачення його корисними нутрієнтами шляхом використання рослинної сировини, а також забезпечення високих органолептичних показників соусу та відповідності його фізико-хімічних і мікробіологічних показників нормованим.

- **Формулювання мети дослідження.** 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.

#### Приклад 1.3

- удосконалити технологію виробництва низькокалорійних соусів;
- розробити рецептуру фаршу з рослинною сировиною;
- обґрунтувати раціональні режими сушіння овочів та фруктів.

- **Визначення завдань дослідження.** 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, змодельювати тощо.

#### Приклад 1.4

- дослідити вплив умов зберігання харчових продуктів на перебіг біохімічних процесів у них;
- визначити органолептичні показники харчових продуктів;
- розробити технологічну документацію на харчовий продукт;

- оптимізувати рецептуру інноваційного харчового продукту;
- удосконалити технологію виробництва харчового продукту;
- обчислити енергетичну цінність харчового продукту;
- розробити математичну модель технологічного процесу;
- обґрунтувати раціональні технологічні режими процесу виробництва харчового продукту.

- **Визначення об'єкта і предмета дослідження.** 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.

#### Приклад 1.5

Об'єкт дослідження – технологія виробництва безалкогольних напоїв.

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

#### Приклад 1.6

Предмет дослідження: модельні композиції сокового напою; глазуrowаний шоколадом зефір; фізико-хімічні та органолептичні властивості мармеладу; хімічний склад м'ясного паштету; процес зберігання консервованих овочів.

- **Вибір методів (методики) проведення дослідження.** 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.

- **Проведення теоретичних та експериментальних досліджень.**

Послідовність розв'язування завдань досліджень зображується у вигляді блок-схеми (рис. 1.1). Відповідно до блок-схеми досліджень складається план проведення досліджень. 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.

- **Аналіз та інтерпретація результатів дослідження.** 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.

### Приклад 1.7

Наукова новизна результатів досліджень:

- вперше сформульовано теоретичні й практичні передумови використання запропонованих добавок (висівок, жмиху, кріопорошків) при виробництві формованих картопляних чіпсів, розроблено математичні моделі технологічного процесу і проведено оптимізацію параметрів їх виготовлення;
- вперше досліджено закономірність співвідношення (4:1) картопляної крупки до висівок жита, ячменю, жмиху гарбузового насіння, кріопорошків броколі та червоного буряка, що дозволяє отримати готові вироби підвищеної харчової цінності;

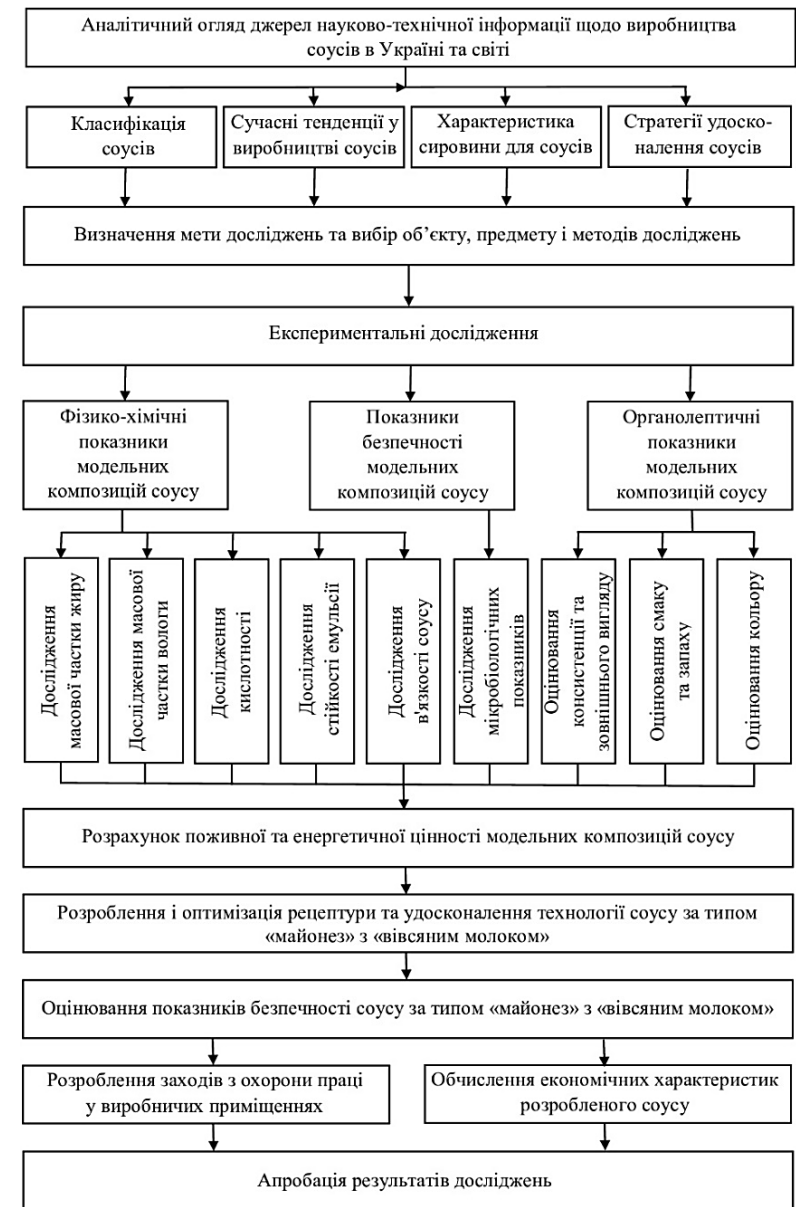


Рисунок 1.1 – Приклад блок-схеми проведення досліджень

- вперше встановлено вплив висівок жита, ячменю, жмиху гарбузового насіння, кріпоршків броколі та червоного буряка на реологічні властивості картопляного тіста при яких досягнуто максимально міцний структурований каркас системи;
- дістало подальший розвиток дослідження щодо процесу температурного оброблення формованих картопляних чипсів без використання фритюрного жиру шляхом випікання-висушування» [2].

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

### Приклад 1.8

Практичне значення результатів досліджень:

«На підставі експериментальних досліджень вдосконалено промислову технологію виробництва варених та копчено-варених виробів зі свинини та встановлено режими пост-пастеризації, які дозволяють подовжити строк зберігання вареного балику до 25 діб, копчено-вареного балику – до 35 діб» [3].

- **Оформлення результатів дослідження.** Результати досліджень можуть бути теоретичними, методичними та прикладними. Результати наукових досліджень можуть бути оформлені у формі усного викладу (повідомлення або виступ перед аудиторією на конференції, симпозіумі, нараді тощо) або опублікованої наукової праці (стаття, монографія, дисертація, реферат, науковий звіт тощо). За результатами дослідження його автори також можуть підготувати заявку на винахід або корисну модель, а також підручник, посібник чи методичні рекомендації.

- **Впровадження результатів дослідження в практику.** На цьому етапі започатковується застосування результатів проведених наукових досліджень в освіті та/або на виробництві. Впровадження наукової продукції оформлюється у формі акта впровадження і передбачає передавання замовнику наукової продукції (звіти, інструкції, технічні умови та проекти тощо).

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 1.1.** Ознайомитися із анотацією наукової роботи (статті) та запропонувати тему наукового дослідження, результати якого резюмовані в цій анотації, визначити об'єкт, предмет та методи цього дослідження.

Анотація: «Проблема погіршення здоров'я населення спонукає науковців та виробників до розширення асортименту продуктів функціонального призначення. На ринку функціональних продуктів Європи та України молочні продукти становлять 65–67 %, особливе місце серед яких посідають кисломолочні продукти. Широким попитом у населення користуються кисломолочні напої, збагачені ягідною сировиною, яка містить антиоксиданти, вітаміни та інші біологічно активні компоненти. Тому актуальним питанням сьогодення є розроблення нових видів кисломолочних напоїв функціонального призначення. Метою цієї роботи є дослідження можливості використання похідних продуктів перероблення *Sambucus nigra* в технології виробництва йогурту... Обґрунтовано і створено рецептуру йогурту з похідних перероблення ягід бузини, вивчено їх органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники. Висновки та обговорення результатів. Розроблена технологія виробництва бузинових порошоків із функціональними властивостями та використання їх у виробництві йогуртів є доцільними для впровадження у виробництво. При проведенні дослідження було встановлено, що процес осмотичної дегідратації дозволяє зберегти біологічну цінність продуктів перероблення *Sambucus nigra*. Ці похідні продукти перероблення можна використовувати як харчові добавки при виробництві йогуртів для покращення їх харчової цінності» [4].

**Завдання 1.2.** Ознайомитися із анотацією наукової роботи (статті) та визначити практичне значення результатів проведеного дослідження.

Назва статті: «Якість овочевих супів-пюре з використанням білковмісної сировини» [5].

Анотація: «Супи є неодмінні в щоденному раціоні харчування людини, а тому вони обов'язкова складова меню більшості закладів ресторанного господарства. На сьогодні у світі налічується приблизно 150 типів супів, які поділяються на понад тисячу видів, при цьому кожен вид може мати кілька варіантів. Супи – ситні, але водночас, як правило, легкі. Вони швидше засвоюються, добре зігрівають і сприяють поліпшенню травлення. У порівнянні зі смаженням, при варінні овочів, грибів, м'яса та птиці в супі зберігається набагато більше корисних речовин. Крім того, супи зазвичай менш калорійні, ніж повноцінні основні страви, але при цьому не поступаються їм за кількістю нутрієнтів.

Метою роботи є дослідження фізико-хімічних та органолептичних показників якості супів із додаванням бобових, а також їх біологічної цінності. Проведено порівняння та оцінювання дослідних зразків (супи

з додаванням сої, сочевиці та квасолі). При написанні статті використовувались методи дослідження: стандартні органолептичного профільного аналізу, розрахункові та математично-статистичні. Обґрунтовано та розроблено технології супів, проведено їхню органолептичну оцінку та досліджено фізико-хімічні показники якості. Проведено аналіз хімічного складу та енергетичної цінності супів, наведено показники вуглеводного навантаження та амінокислотного скору страв. Наведені показники біологічної цінності супів. Висновки та пропозиції. Проведені дослідження дають змогу обґрунтувати методи покращення хімічного складу та органолептичних показників супів-пюре з додаванням бобових» [5].

**Завдання 1.3.** Ознайомитися із фрагментом анотації наукової роботи (статті) та визначити наукову новизну і практичне значення результату проведеного дослідження.

Анотація: «У статті обґрунтовано можливість виробництва мафінів яблучних спеціального призначення з метою розширення асортименту борошняних кондитерських виробів для хворих на цукровий діабет, ожиріння, целиацію. Проаналізовано досвід використання заміників цукру, борошна пшеничного в технології борошняних кондитерських виробів спеціального призначення, зокрема з покращеною харчовою, біологічною цінністю та зниженим глікемічним індексом. Підібрано рецептурні сипкі компоненти та встановлено, що найменший глікемічний індекс має борошно зеленої гречки (15 од.), лляне борошно (35 од.) та амарантове борошно (45 од.). Визначено харчову й енергетичну цінність дослідних зразків борошна та яблучної клітковини, які використовувались у рецептурах мафінів яблучних спеціального призначення... Визначено хімічний склад, енергетичну цінність і глікемічний індекс інноваційного виробу та проведено порівняння з контролем. Результатом проведеного дослідження є науково обґрунтований склад інноваційних мафінів яблучних спеціального призначення з високими органолептичними показниками, покращеною харчовою цінністю, зниженими енергетичною цінністю (на 22 %) і глікемічним індексом (на 17 %)» [6].

**Завдання 1.4.** Ознайомитися із фрагментом анотації наукової роботи (статті) та сформулювати мету дослідження, результати якого резюмовані в цій анотації.

Анотація: «Тенденція до здорового способу життя відкриває широкі перспективи для впровадження в щоденний раціон українців 800 г плодів та ягід у свіжому або замороженому вигляді. Плоди та ягоди – це натуральні

вітаміноносії, для яких характерні різні лікувально-профілактичні властивості. Макро- та мікроелементи містяться в плодово-ягідній сировині в органічно зв'язаній, тобто найбільш доступній, засвоюваній організмом формі. В період, коли немає свіжої сировини (а це понад 6 місяців щороку), саме заморожені плодово-ягідні напівфабрикати стають основою для виробництва різних харчових продуктів. Використання замороженої плодово-ягідної сировини в харчових продуктах надає їм функціональних властивостей. Це особливо перспективно при виробництві груп продуктів, які постійно є в раціоні населення. До таких продуктів масового споживання відносяться хлібобулочні та кондитерські вироби, безалкогольні напої, молочні та м'ясні продукти, які гармонійно поєднуються з плодами та ягодами. У статті визначено сфери використання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів у харчових технологіях і розроблено рецептуру йогурту «Чіасан», збагаченого насінням чіа, пюре дефростованих ягід чорниці та екстрактом стевії, а також ізотонічного напою «Непал», збагаченого соком дефростованих ягід малини та гімалайською сіллю» [7].

**Завдання 1.5.** Мета наукового дослідження – розробити рецептуру кексів із використанням м'якоті гарбуза. Необхідно запропонувати перелік завдань дослідження, розв'язання яких дозволить досягнути поставленої мети дослідження.

**Завдання 1.6.** Завдання наукового дослідження:

- визначити органолептичні показники (зовнішній вигляд та консистенцію, смак, запах та колір) розробленого квасолевого соусу;
- визначити вміст жиру та білків у розробленому квасоловому соусі;
- визначити в'язкість розробленого квасолевого соусу;
- визначити умови та допустимі терміни зберігання розробленого квасолевого соусу;
- обчислити поживну та енергетичну цінність розробленого квасолевого соусу.

Визначити методи досліджень, що дозволять розв'язати визначені завдання досліджень та описати методики досліджень.

**Завдання 1.7.** Мета дослідження – удосконалити технологію виробництва фруктових чипсів.

Об'єкт дослідження – технологія виробництва фруктових чипсів.

Предмет дослідження – фруктові чипси та їх фізико-хімічні та органолептичні властивості.

Завдання дослідження:

- дослідити асортимент фруктових чипсів в Україні та світі;
- визначити сучасні тенденції ринку фруктових чипсів;
- проаналізувати способи сушіння фруктів;
- визначити фізико-хімічні властивості фруктових чипсів;
- визначити органолептичні властивості фруктових чипсів;
- дослідити тривалість сушіння фруктових чипсів залежно від товщини нарізування фруктів;
  - обґрунтувати режим сушіння фруктових чипсів залежно від сировини;
  - визначити вміст вітаміну С у фруктових чипсах;
  - розробити математичну модель процесу сушіння фруктів;
  - удосконалити технологію виробництва фруктових чипсів;
  - обчислити поживну цінність фруктових чипсів;
  - обчислити економічні характеристики фруктових чипсів, отриманих за удосконаленою технологією.

Скласти блок-схему проведення дослідження.

**Завдання 1.8.** Обґрунтувати актуальність теми наукового дослідження «Дослідження асортименту безлактозних харчових продуктів в Україні та світі».

**Завдання 1.9.** Ознайомитися із фрагментом висновків наукової роботи (статті). Встановити, чи була досягнута мета дослідження та обґрунтувати свою відповідь.

Мета дослідження: «Визначення доцільності застосування мальтитоли та борошна амаранту в цукровому печиві та їх впливу на органолептичні, фізико-хімічні показники, харчову й енергетичну цінність готових виробів» [8].

Висновки: «За органолептичними, фізико-хімічними (вологість, намочуваність, лужність), структурними (густина, питомий об'єм) печиво на мальтитолі наближається до печива на цукрі білому. Кількість білків і жирів у печиві на мальтитолі та на цукрі білому фактично однакова, але істотно відрізняється вуглеводна складова, що обумовлено повною заміною цукру на мальтитол, тобто вилученням «швидких вуглеводів». Показник глікемічності печива на мальтитолі на 9% менше за печиво на цукрі білому, що є позитивним. Застосування борошна амаранту сприяє підвищенню кількості білка та покращенню мінерального складу печива на мальтитолі, що є важливим, особливо для хворих на цукровий діабет. Впровадження у виробництво такого печива сприятиме розширенню асортименту борошняних кондитерських виробів для хворих на цукровий діабет» [8].

**Завдання 1.10.** Ознайомитися з фрагментом висновків наукової роботи (статті) та на їх основі сформулювати пропозиції виробникам пшеничного хліба.

Висновки: «Встановлено доцільність збагачення пшеничного хліба продуктами перероблення рису, а саме борошна, з огляду на необхідність зниження вмісту клітковини в раціоні хворих на запальні захворювання кишечника. За використання рисового борошна знижується газоутримання на 3,7–20,4%, що пояснюється впливом цієї сировини на клейковину пшеничного борошна. Встановлено підвищення в'язкості тістової системи на 3,7–18,5% внаслідок збільшення водопоглинальної здатності тіста. Знижується питомий об'єм і пористість зразків. Встановлено, що раціональна кількість внесення рисового борошна на заміну пшеничного не більше 20%» [9].

**Завдання 1.11.** Ознайомитися з фрагментом висновків наукової роботи (статті) і обґрунтувати напрями подальших наукових досліджень.

Висновки: «...додавання порошку лушпиння цибулі у кількості менше ніж 2,5% не впливає на показник якості макаронних виробів, а в разі додавання більше як 12,5% призводить до перевитрат та погіршення споживних властивостей виробів. Оптимальний вміст порошку – 5% до маси борошна, оскільки така кількість не призведе до перевитрат і покращить якість. Показник втрат сухих речовин є надзвичайно високим, що може свідчити про перехід у варильну воду важливих речовин (в тому числі флавоноїдів, амінокислот тощо). Для підтвердження біологічної цінності таких макаронних виробів слід провести низку досліджень, які визначатимуть кількість життєво необхідних речовин у макаронних виробках до та після готовності» [10].

**Завдання 1.12.** Ознайомитися з фрагментом анотації наукової роботи (статті) та запропонувати декілька тем подальших наукових досліджень у межах цієї наукової проблеми.

Анотація: «На сьогодні ринок замороженої плодоовочевої продукції активно розвивається, і в ньому значну частку складають заморожені плоди і ягоди... Розвинуті країни світу вже давно оцінили всі переваги низькотемпературних технологій перероблення та зберігання сільськогосподарської сировини, і, наприклад, у США заморожені продукти складають до 70% у загальній структурі споживання, а в країнах близького зарубіжжя ця цифра становить 20% і продовжує зростати. В Україні аналогічні показники набагато нижчі, і це створює передумови для розвитку та розширення

ринку заморожених плодоовочевих напівфабрикатів, аби досягти з часом рівня провідних країн світу. Водночас це й нагальна потреба – плоди та ягоди швидко псуються, і тривале зберігання можливе лише у замороженому стані. Якість такої продукції практично відповідає рівневі показників свіжої сировини, ураховуючи органолептичні властивості» [11].

## 1.2 Пошук, оброблення та аналіз інформації

Важливими складовими наукового дослідження є пошук інформації за темою дослідження, її оброблення та аналіз. Пошук інформації спрямований на відшукування документів, що необхідні для розроблення теми. Джерелами наукової інформації є: рецензовані друковані та електронні наукові видання (енциклопедії, дисертації, монографії, статті, наукові звіти, збірники наукових праць, довідково-інформаційні видання тощо); патентні бази даних; виступи, матеріали та рекомендації наукових конференцій, симпозіумів, круглих столів тощо; статистичні дані; нормативно-правова база; інформація на сайтах наукових установ та університетів; методичні рекомендації спеціалістів галузі; інформація у засобах масової інформації.

Сучасні автоматизовані методи пошуку інформації, отримання консультацій, довідок і різних копій дозволяють значно скоротити час пошуку необхідної інформації та зменшити трудомісткість процесу [12]. У мережі Інтернет є спеціалізовані пошукові системи та спеціальні бази даних наукової інформації (наукометричні бази даних): Web of Science, Scopus, Google Scholar, Index Copernicus, Springer, Agris, GeoRef та інші. Пошук інформації може відбуватися за назвою видання (журналу, збірника), прізвищем та ім'ям автора, назвою статті чи книги, ключовими словами тощо. Доступ до тексту публікації (статті, монографії, книги, наукових звітів тощо) може бути вільним чи платним. У випадку вільного доступу вся інформація щодо публікації та її текст надаються безкоштовно. У випадку платного доступу інформація щодо авторів публікації, анотація та список посилань, як правило, є у вільному доступі, а за доступ до тексту публікації необхідно провести оплату.

До пошукових систем наукової інформації, що індексують тексти наукових публікацій всіх форматів і напрямів, належить Google Scholar (Google Академія). У результаті пошуку система формує перелік документів (статей, книг, дисертацій, анотацій, авторефератів, матеріалів конференцій, патентів тощо). Система дозволяє упорядкувати чи сортувати результати пошуку за датою, вилучати з результатів пошуку патенти або цитати (рис. 1.2).

Пошукова система Google Scholar повідомляє користувачу назву документа, його авторів, джерело інформації та подає фрагмент тексту документа. У системі прямі посилання на повні тексти документів мають позначку [PDF], посилання на ресурс, де розміщений документ, – позначку [HTML], а посилання на документ, що не має електронної версії, має позначку [Цитата] (рис. 1.2). Запис у результатах пошуку може також містити інформацію щодо: кількості цитувань документа та його версій, кількості пов'язаних документів, оформлення цитувань документа у різних стилях. Крім того, можливий перехід на авторський профіль авторів документа (прізвища авторів, що мають власний профіль, підкреслені). Щоб переглянути потрібну інформацію, необхідно натиснути на відповідне посилання.

Для переходу у вікно розширеного пошуку в Google Академія необхідно натиснути на значок «три риски» та обрати закладку «Розширений пошук» (рис. 1.3). Опції розширеного пошуку дозволяють проводити пошук за ключовим словом, точною фразою, знайти документи конкретного автора чи видання, встановити діапазон дат. Google Академія підтримує оператори розширеного пошуку, що подані в таблиці 1.1.

Google Академія дозволяє зберігати (опція «Зберегти») вибрані документи в бібліотеці для подальшої роботи з ними.

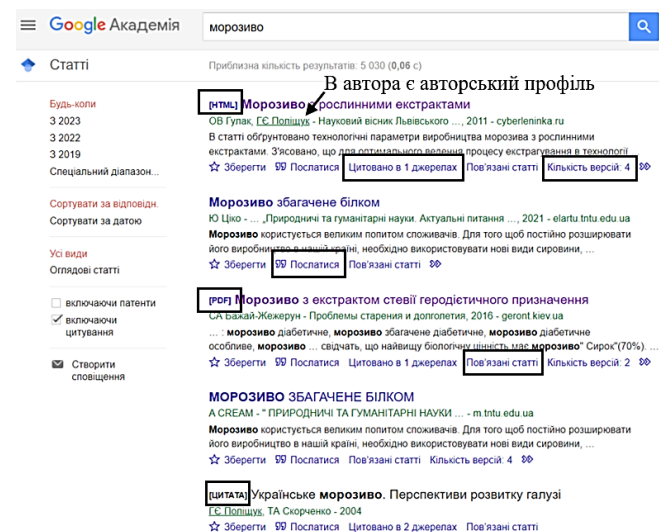


Рисунок 1.2 – Сформований перелік документів у Google Академія  
Оформлено з використанням джерела: <https://scholar.google.com>

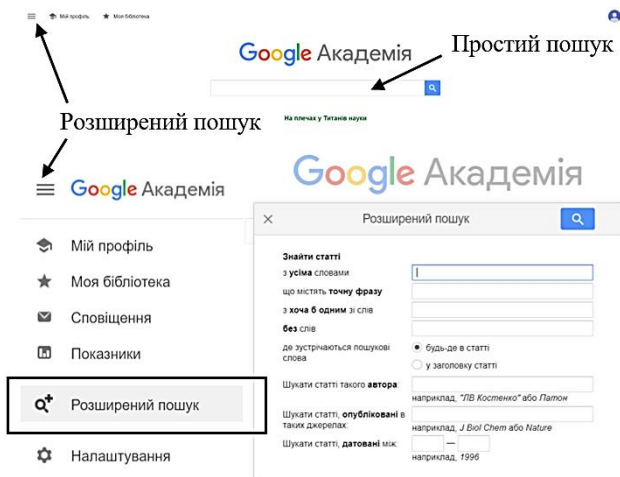


Рисунок 1.3 – Простий та розширений пошук в Google Академія  
Оформлено з використанням джерела: <https://scholar.google.com>

Таблиця 1.1 – Оператори розширеного пошуку Google Академія

Оператор	Дія
+	додати в пошуковий запит загальні назви, літери або цифри
-	відкинути всі результати, які містять заданий термін
«...»	лише результати, в яких міститься конкретна фраза
OR	результати, що містять один із пошукових термінів
intitle...	пошук лише у заголовку документів

Під час **оброблення інформації** проводиться ознайомлення з відібраними джерелами та занотовування потрібного матеріалу. Для занотовування рекомендується відбирати лише наукові факти. Реферуючи джерело наукової інформації, необхідно точно передавати його зміст.

**Аналіз інформації** за темою дослідження дозволяє дослідити сучасний стан питання, визначити тенденції у вирішенні наукової проблеми та обґрунтувати актуальність теми дослідження. Перед початком аналізу інформації автор має звернути увагу на те, де опублікована ця інформація, яка кількість цитувань джерела, авторитетність автора (авторів) поміж науковців цієї галузі (*h*-індекс та інші показники). Рекомендується використовувати інформацію лише з рецензованих видань, які індексуються у провідних наукометричних базах

даних. Аналізуючи інформацію щодо досліджуваного явища чи процесу необхідно враховувати позицію та бачення кількох науковців щодо вирішення наявних проблем. Необхідно з'ясувати, з якими труднощами доводилося стикатися науковцям, досліджуючи обрану тему. Після критичного аналізу інформації її можна використовувати у власній науковій праці із обов'язковим вказуванням джерела.

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 1.13.** Знайти статтю за допомогою розширеного пошуку в системі Google Академія, вказавши у вікні «Знайти статті, що містять точну фразу» назву статті:

Берник, І., & Новгородська, Н. (2022). Морозиво для оздоровчого харчування. *Продовольчі ресурси*, 10(19), 47–57.

Визначити кількість версій статті та скопіювати посилання на неї в форматі APA. Відкрити статтю [PDF] та скопіювати ключові слова.

**Завдання 1.14.** Знайти статтю за допомогою розширеного пошуку в системі Google Академія, вказавши:

- у вікні «Знайти статті, що містять точну фразу» фразу: використання поре хеномелесу;
- у вікні «Шукати статті такого автора»: «Горобець»;
- у вікні «Шукати статті, датовані між»: 2022.

Скопіювати посилання на статтю в форматі APA. Відкрити статтю [PDF] та визначити під яким номером у списку використаних джерел знаходиться посилання на статтю:

Хомич, Г. П., Васюта, В. М., & Левченко, Ю. В. (2014). Комплексна переробка плодів хеномелесу. *Наукові праці ОНАХТ*, 2(46).

**Завдання 1.15.** Знайти статтю за допомогою простого пошуку в системі Google Академія, вказавши у вікні пошуку назву статті: «Physical and flavour stability of mayonnaise». Скопіювати посилання на статтю у форматі APA. Визначити, у скількох джерелах стаття цитована та хто із авторів статті має авторській профіль в Google Академія.

**Завдання 1.16.** Знайти статтю за допомогою розширеного пошуку в системі Google Академія, вказавши:

- у вікні «Знайти статті з хоча б одним зі слів»: Recent;
- у вікні «Шукати статті такого автора»: Sagar + Suresh Kumar;

- у вікні «Шукати статті, опубліковані в таких джерелах»: Journal of Food Science and Technology;
  - у вікні «Шукати статті, датовані між»: 2010.
- Скопіювати посилання на статтю в форматі APA та визначити, у скількох джерелах стаття цитована.

### 1.3 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 [13].

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

#### Приклад 1.9

Пряма цитата: За результатами досліджень науковці Н. В. Попова та Т. Г. Мисюра встановили, що найкращим є зразок начинки глазуrowаного сирка, який «містить лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми в співвідношенні 0,11:0,35:0,54 відповідно» [14].

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

#### Приклад 1.10

Оригінал: «З огляду на органолептичне оцінювання й отримані дані фізико-хімічного аналізу запропонованих зразків сирка

з начинкою різного складу, найкращим було обрано зразок, що містить лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми в співвідношенні 0,11:0,35:0,54 відповідно» [14].

Парафраз: Найкраще співвідношення між імбирним, брусничним та обліпиховим джемами для начинки глазуrowаного сирка становить відповідно 0,11:0,35:0,54 [14].

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.

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.

#### Особливості оформлення цитувань:

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

#### Приклад 1.11

У своїй науковій праці Н. В. Попова та Т. Г. Мисюра зазначають: «Лимонно-імбирний джем надає продукту приємного аромату та містить у своєму складі корисний для імунної системи вітамін С» [14].

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

#### Приклад 1.12

Глазуrowані сирки користуються найбільшим попитом серед дітей, тому виробники для «підвищення харчової та біологічної цінності глазуrowаних сирків до їх складу додають різноманітні наповнювачі та природні добавки» [14].

- 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;

#### Приклади 1.13

«У сирі міститься необхідний для кісткової тканини кальцій, вітаміни *A*, *E* і *C*, а також... мікроелементи» [14].

«Брусничний джем надає... приємних органолептичних властивостей готовому сирку. Лимонно-імбирний джем надає продукту приємного аромату...» [14].

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

#### Приклад 1.14

«...зусилля медиків і технологів спрямовано на обґрунтування, розроблення й виробництво нових кисломолочних продуктів, що не тільки задовольняють потреби людини в енергії, поживних речовинах, а й чинять імунотропний вплив... та інші позитивні фізіологічні впливи на органи, системи й функції організму» (Цит. за: [14]).

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

#### Приклад 1.15

Ті, хто думають, що не мають часу на здорове харчування, рано чи пізно знайдуть час для хвороби.

Едуард Стенлі

- 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);

#### Приклад 1.16

М. Ф. Кравченко та І. А. Кублінська розробили «технологію соусу з композиційною сумішшю грибних порошоків печериці, шийтаке, рейші та борошна...» [15].

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

#### Приклад 1.17

Обсяги реалізації ягід у світі постійно зростають, що обумовлено значним попитом на них (Кухтіна, 2020; Галат, 2021).

Обсяги реалізації ягід у світі постійно зростають, що обумовлено значним попитом на них [16, 17].

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

#### Приклад 1.18

За даними М. М. Ісмаїла (M. M. Ismail) [18] «вівсяне молоко» містить вітаміни *A*, *D*, *E* і *B*<sub>1</sub>.

- 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;

#### Приклад 1.19

Текст (Автор, 2022а, Автор, 2022б).

- якщо використовуються дані інших авторів у формі таблиці (*таблиці 1.2–1.3*) чи графічного матеріалу (*рис. 1.4*) або ж формули тощо, тоді також необхідно вказати джерело інформації;

#### Приклад 1.20

Рівняння регресії для визначення кількості вітаміну *C* у начинці глазурированого сирка залежно від вмісту в ній лимонно-імбирного, брусничного та обліпихового джемів [14]:

$$C = 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz,$$

де *C* – маса вітаміну *C* у начинці, мг;

*x*, *y*, *z* – вміст лимонно-імбирного, брусничного та обліпихового джемів у начинці, мас. %.

Таблиця 1.2 – Визначення харчової та енергетичної цінності супів

Назва нутрієнту	Харчова та енергетична цінність супів, г/100 г супу	
	Овочевий суп із квасолею	Суп томатний із сочевицею та беконом
Білків (Б), г	2,87	5,40
Жирів (Ж), г	2,21	6,75
Вуглеводів (В), г	8,82	10,19
Співвідношення Б:Ж:В	1:0,8:3,1	1:1,25:1,9
Енергетична цінність, ккал	66,7	123,2

Джерело інформації: [5]

Таблиця 1.3 – Визначення харчової та енергетичної цінності напоїв

Напій	Вміст поживних речовин, г/100 г напою			Джерела
	вуглеводи	білки	жири	
«Соєве молоко»	4,64–4,92	3,82–3,98	3,10–4,30	[19; 20]
«Вівсяне молоко»	27,30–50,01	9,70–17,30	5,20–12,40	[21]
«Рисове молоко»	9,41–12,70	0,28–1,26	0,97–1,11	[22]

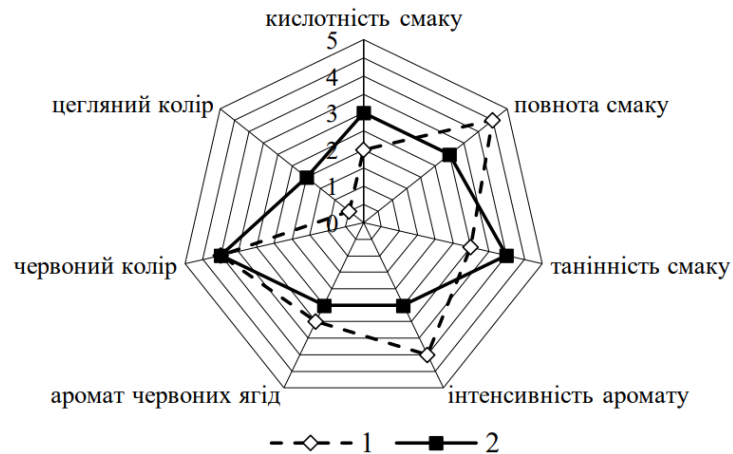


Рисунок 1.4 – Профілограма червоних вин:

1 – алкогольне вино (контроль); 2 – деалкоголізоване вино

Джерело інформації: [23]

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

### Приклад 1.21

У практичному посібнику зазначено: «Система НАССР охоплює всі потенційні ризики, що можуть впливати на безпечність харчової продукції (біологічні, фізичні, хімічні та алергени)...» [24, с. 6].

Важливо пам'ятати, що для визначення критичних контрольних точок «до уваги беруться етапи технологічного процесу, на яких ризик перевищення небезпечним фактором допустимого рівня залишається значним і може призвести до загрози безпечності харчового продукту» [24, с. 116–117].

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 1.17.** Ознайомитися з фрагментом статті. Необхідно скласти парафраз на фрагмент статті та оформити його належним чином.

Фрагмент статті: «...оптимальна кількість насіння чіа для пастили сливової становить 3% до маси пюре... споживання пастили «Сливова з чіа» забезпечує організм людини високим вмістом харчових волокон, поліненасиченими жирними кислотами, калієм, фосфором, марганцем, міддю, вітаміном С, кальцієм, залізом, вітаміном РР. Органічна сливова пастила відноситься до продуктів з низьким глікемічним показником, що дозволяє її споживати всім верствам населення...» [25].

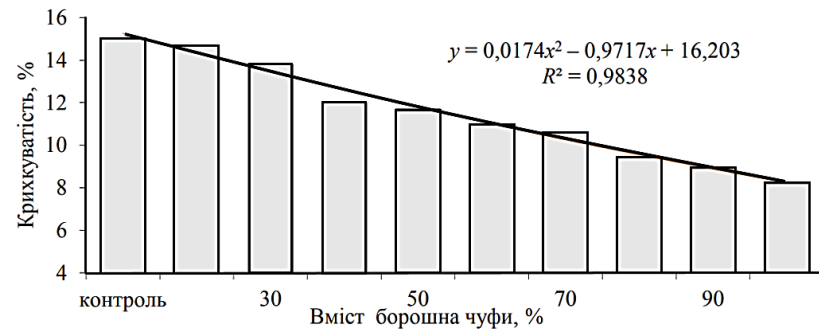
**Завдання 1.18.** Ознайомитися з табличними даними (таблиця 1.4). Скласти парафраз (текст) на основі аналізу табличних даних та оформити його належним чином.

Таблиця 1.4 – Динаміка зміни вмісту аскорбінової кислоти в ягодах, заморожених традиційним способом

Дослідні зразки	Вміст аскорбінової кислоти в ягодах, мг/100 г		
	калина	журавлина	чорна смородина
Свіжі ягоди	130,4	243,6	193,3
Заморожені ягоди	104,9	202,0	142,5
Заморожені та дефростовані ягоди	48,5	108,1	56,1

Джерело інформації: [26]

**Завдання 1.19.** Ознайомтеся з даними на *рис. 1.5*. Скласти парафраз (текст) на основі аналізу даних та оформити його належним чином.



*Рисунок 1.5* – Вплив борошна з бульб чуфи на крихкуватість мафінів  
Джерело інформації: [27]

**Завдання 1.20.** Ознайомитися з перекладом фрагмента статті. Скласти парафраз, в тексті якого згадуються ініціали і прізвища авторів (Т. Kutoš, Т. Golob, М. Kač, А. Plestenjak), та оформити його належним чином.

Оригінал фрагмента статті: «Changes observed in dietary fibre content due to thermal processing of beans are very complex. The changes depend on the type of beans, the processing method and its duration» [28].

Переклад фрагмента статті: «Зміни вмісту харчових волокон, які спостерігаються внаслідок термічного оброблення бобів, дуже складні. Зміни залежать від виду бобів, способу та тривалості оброблення» [28].

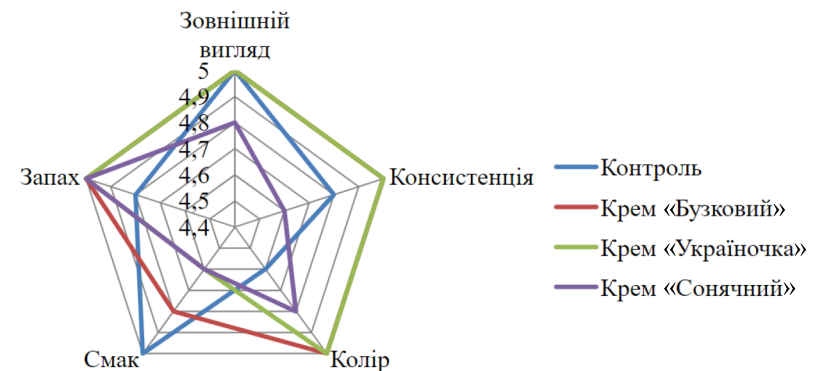
**Завдання 1.21.** Ознайомитися з фрагментами двох статей. Скласти парафраз із двох фрагментів статей щодо властивостей сублимованого порошку аронії, в тексті якого згадуються ініціали і прізвища авторів статей, та оформити його належним чином.

Фрагмент першої статті (автор: Л. В. Соколова): «У сублимованих порошках аронії, артишоку та кавуна кількісно визначена наявність широкого спектра біологічно активних речовин із потужними антиоксидантними властивостями, що дозволяє припустити, що сублимовані порошки рослин здатні проявляти антивікову дію, що відкриває перспективу їх застосування для антиейджингу» [29].

Фрагмент другої статті (автори статті: А. Абрамова, К. Рубанка та О. Писарець): «Аналітичний огляд літератури показав, що перспективною сировиною багатою на макро- та мікронутрієнти є чорноплідна горобина (аронія) та продукти її переробки (пасти, екстракти, сублимований порошок).

Вміст антоціанів в сублимованому порошок чорноплідної горобини складає 490 мг цианідін-3-глікозиду / 100 г продукту, така сировина характеризується високою антирадикальною та антиоксидантною активністю» [30].

**Завдання 1.22.** Ознайомитися з сенсорною профілограмою на *рис. 1.6*. Використовуючи дані сенсорної профілограми [31], скласти таблицю із вказуванням джерела даних для порівняння результатів оцінювання (в балах) органолептичних властивостей (зовнішній вигляд, консистенція, колір, смак, запах) контрольного варіанта крему з кремом «Україночка».



*Рисунок 1.6* – Сенсорна профілограма кремів

Джерело інформації: [31]

**Завдання 1.23.** Скласти таблицю щодо вмісту мінеральних речовин в борошні із різної сировини. У таблиці вказати джерела використаної інформації. Вміст мінеральних речовин у 100 г вівсяного борошна [32]: магній – 16 мг; кальцій – 18 мг; калій – 122 мг; залізо – 1200 мкг; цинк – 700 мкг. Вміст мінеральних речовин у 100 г пшеничного борошна [33]: магній – 13 мг; кальцій – 15 мг; калій – 118 мг; залізо – 1160 мкг; цинк – 670 мкг. Вміст мінеральних речовин у 100 г борошна спельти [34]:

магній – 112,32 мг; кальцій – 80,53 мг; калій – 313,56 мг; залізо – 5,81 мг; цинк – 11,1 мг. Вміст мінеральних речовин у 100 г борошна із знежиреного насіння гарбуза [34]: магній – 528,6 мг; кальцій – 127,4 мг; цинк – 3,77 мг; калій – 969,33 мг; залізо – 15,09 мг.

**Завдання 1.24.** Ознайомтеся з оригіналом фрагмента статті та проаналізуйте три варіанти парафраза на нього. Визначити, в якому із варіантів цитування оформлене неналежним чином та зробити необхідні виправлення.

Оригінал фрагмента статті: «...всі зразки морозива відповідають вимогам стандарту за органолептичними показниками. Найкращими органолептичними показниками характеризувався зразок № 3, в який вносили екстракт меліси 6 %. Ця кількість виявилася достатньою для надання привабливих споживчих властивостей. При зниженні кількості екстракту присмак наповнювача в продукті стає слабко вираженим. Збільшення кількості екстракту зумовлює появу вад смаку та кольору, а саме, з'являється гіркуватий смак з присмаком меліси» [35].

Варіант парафраза А: Додавання до рецептури морозива екстракту меліси в кількості 6 % надає йому привабливих споживчих властивостей, які відповідають вимогам стандарту [35].

Варіант парафраза Б: Науковці дослідили, що морозиво з екстрактом меліси (6 %) має органолептичні показники, які відповідають вимогам стандарту.

Варіант парафраза В: Науковці І. Берник та Н. Новгородська встановили, що збільшення кількості екстракту меліси у морозиві понад 6 % зумовлює появу гіркуватого смаку з присмаком меліси [35].

**Завдання 1.25.** Ознайомтеся з оригіналом фрагмента статті, в якому є посилання на первинне джерело інформації, яке недоступне для перевіряння. Скласти парафраз та оформити належним чином цитату із вторинного джерела.

Оригінал фрагмента статті: «...при складанні рецептур консервів для дітей слід враховувати підвищені фізіологічні потреби зростаючого організму в білках, жирах, вуглеводах, вітамінах та мінеральних речовинах... [1]» [36].

**Завдання 1.26.** Ознайомтеся з оригіналами фрагментів статей, які опубліковані протягом одного року тим самим автором.

Використовуючи усі три фрагменти, скласти парафраз та оформити його належним чином із вказуванням прізвища автора.

Фрагмент першої статті: «У сублімованих порошках аронії, артишоку та кавуна кількісно визначена наявність широкого спектра біологічно активних речовин із потужними антиоксидантними властивостями, що дозволяє припустити, що сублімовані порошки рослин здатні проявляти антивікову дію, що відкриває перспективу їх застосування для антиейджингу» [29].

Фрагмент другої статті: «Методом високоефективної рідинної хроматографії в сублімованому порошок аронії ідентифіковано 16 індивідуальних сполук, які належать до різних класів біологічно активних речовин, більшість яких – із потужними антиоксидантними властивостями (кислота аскорбінова, дигідрокверцетин, кверцетин, гесперидин, рутин, кислота хлорогенова, кислота ферулова тощо)» [37].

Фрагмент третьої статті: «Сублімовані порошки аронії багаті на макроелементи – магній та калій та мікроелементи – залізо, манган, цинк, мідь, йод та молібден» [38].

**Завдання 1.27.** Ознайомтеся з фрагментом анотації статті. Використовуючи фрагмент анотації статті, оформити пряму цитату, яка супроводжується вашими словами.

Фрагмент анотації статті: «розроблено технологію напою «Морс яблучно-кислиловий із екстрактом глоду». Органолептично встановлено збалансовану концентрацію екстракту стевії, яка становить 0,065 % до вихідної сировини, що дозволяє отримати низькокалорійний продукт високої якості» [39].

**Завдання 1.28.** Ознайомтеся з оригіналами фрагментів статей. Скласти парафраз з розташуванням джерел у хронологічному порядку.

Фрагмент першої статті: «Чудові поживні якості борошна амаранта в порівнянні з іншими зерновими, роблять його у поєднанні з пшеничним або вівсяним борошном повноцінним інгредієнтом для дитячого харчування» [40].

Фрагмент другої статті: «Введення амарантового борошна у кількості 10 % до маси пшеничного борошна забезпечує збільшення вмісту цинку і фосфору у 1,2–1,5 рази, кальцію – у 2,4 рази порівняно з пшеничним хлібом без добавок» [41].

## 1.4 ОФОРМЛЕННЯ ДЖЕРЕЛ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Оформлення бібліографічних посилань має відповідати ДСТУ 8302:2015 [42]. Посилання має містити бібліографічні відомості щодо цитованого або згадуваного в науковій праці документа (статті, монографії, наукового звіту, підручника, патенту тощо) для його однозначної ідентифікації та пошуку. Можливі три **види посилань**:

- **внутрішньотекстове** – бібліографічні відомості джерела вказуються безпосередньо в тексті наукової праці в круглих дужках після цитати з нього чи парафразу (або даних, таблиці, графічного матеріалу тощо); цей вид посилань використовується, якщо частину відомостей щодо джерела зазначено в тексті наукової праці;

### Приклад 1.22

У статті Л. В. Соколової «Сублімований порошок аронії – перспективне джерело мінеральних речовин» зазначено, що «сублімовані порошки аронії багаті на макроелементи...» (Вісник фармації. 2013. Т. 1. № 73. С. 23–25).

- **підрядкове** – бібліографічні відомості джерела подаються внизу текстової сторінки (відокремлюються від основного тексту горизонтальною рисою), на якій подається цитата чи парафраз, у формі звичайної виноски; підрядкове посилання пов'язується із текстом за допомогою надрядкових арабських цифр, літер чи астериска (зірочки) (наприклад: Текст<sup>2</sup>; Текст<sup>a</sup>; Текст\*);

### Приклад 1.23

**У тексті:** У статті Л. В. Соколової «Сублімований порошок аронії – перспективне джерело мінеральних речовин» зазначено, що «сублімовані порошки аронії багаті на макроелементи<sup>2</sup>».

**У підрядковому посиланні:** <sup>2</sup>Вісник фармації. 2013. Т. 1. № 73. С. 24.

- **затекстове** – бібліографічні відомості джерел подаються в кінці тексту наукової праці або її частини (розділу) у вигляді списку використаних джерел; у тексті наукової праці посилання на джерело оформлюється у квадратних дужках (наприклад: [2]; [3–7]; [2, 6–9]; [3, с. 5]) або круглих дужках (наприклад: (Кухтіна, 2020); (Антоненко, 2014; Миколенко & Гезь, 2017; Дзюбинський та ін., 2020)); джерела у списку розташовуються в алфавітному порядку чи в порядку появи посилань у тексті (нумеруються арабськими цифрами); список має містити всі джерела, на які є посилання у тексті наукової праці.

### Приклад 1.24

**У тексті праці:** «...серед соусів одним із найбільш популярних є майонез [1]. Зокрема в Україні споживачами майонезу є 80 % населення, із них 40 % вживають його щонайменше тричі на тиждень [2]...» [43].

### Після тексту праці:

1. Carcelli A., Crisafulli G., Carini E., Vittadini E. Can a physically modified corn flour be used as fat replacer in a mayonnaise? *European Food Research and Technology*. 2020. № 246. P. 2493–2503.

2. Геліх А., Применко В., Василенко О., Приходько І. Дослідження показників якості та безпечності майонезу на основі конопляної олії. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2021. № 4(2). С. 345–360.

### Приклад 1.25

**У тексті праці:** «...використання нових пакувальних матеріалів (Богданова & Домбровська, 2018), попереднє оброблення плодів та ягід кріопротекторами (Сімахіна & Науменко, 2011)... забезпечують мінімальні втрати клітинного соку (Белінська, 2009)» [7].

### Після тексту праці:

Белінська С. О. Наукові й практичні засади розроблення рецептур і формування якості швидкозаморожених плодоовочевих продуктів. *Харчова й переробна промисловість*. 2009. № 11–12. С. 26–28.

Богданова О. А., Домбровська О. П. Використання нетрадиційної сировини для тарного картону в харчовій промисловості. VII Міжн. спец. наук.-практ. конф. «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції». Київ : НУХТ, 2018. С. 109–111.

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Низькі температури у технологіях оздоровчих продуктів : монографія. Київ : Сталь, 2011. 363 с.

У тексті наукової праці можуть оформлюватися примітки для додаткового пояснення матеріалу або для посилання на джерела даних в таблицях тощо. Примітки пов'язують із текстом за допомогою надрядкових арабських цифр чи астериска (наприклад: Текст<sup>2</sup>; Текст\*).

### Приклад 1.26

Приклад оформлення примітки (*таблиця 1.5*).

Таблиця 1.5 – Визначення харчової та енергетичної цінності супів

Напій	Вміст поживних речовин, г/100 г		
	вуглеводи	білки	жири
«Вівсяне молоко»	27,30 <sup>1</sup>	9,70 <sup>1</sup>	5,20 <sup>1</sup>
«Рисове молоко»	9,41 <sup>2</sup>	0,28 <sup>2</sup>	0,97 <sup>2</sup>

**Примітки:**

1. Sterna V., Zute S., Brunava L. Oat grain composition and its nutrition benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2016. Vol. 8. P. 252–256.

2. Mota C., Santos M., Mauro R., Samman N., Matos A. S., Torres D., Castanheira I. Protein content and amino acids profile of pseudocereals. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 193. P. 55–61.

Під час оформлення списку використаних джерел необхідно дотримуватися вимог ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 [44] і ДСТУ 8302:2015 або стилів оформлення джерел наукової інформації [45]:

- MLA (Modern Language Association) style;
- APA (American Psychological Association) style;
- Chicago style: Author-Date;
- Chicago style: Notes and Bibliography;
- Harvard Referencing Style;
- ACS (American Chemical Society) style;
- AIP (American Institute of Physics) style;
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) style;
- Vancouver style.

Розглянемо схеми оформлення внутрішньотекстових посилань та списку використаних джерел відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 та ДСТУ 8302:2015, а також APA style.

Схеми оформлення внутрішньотекстових посилань згідно з ДСТУ 8302:2015 розглянуто вище. **Оформлення списку використаних джерел відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 [44] та ДСТУ 8302:2015 [42]:**

• **книги:**

**схема 1:** Прізвище 1 Ініціали 1, Прізвище 2 Ініціали 2, Прізвище 3 Ініціали 3. Назва книги : підназва книги. Місце видання : Видавництво, Рік видання. Кількість сторінок;

**схема 2:** Прізвище 1 Ініціали 1, Прізвище 2 Ініціали 2, Прізвище 3 Ініціали 3. Назва книги : підназва книги / за ред. Ініціали 1 Прізвище 1, Ініціали 2 Прізвище 2. Місце видання : Видавництво, Рік видання. Кількість сторінок;

**схема 3:** Назва книги : підназва книги / Ініціали 1 Прізвище 1 та ін. Місце видання : Видавництво, Рік видання. Кількість сторінок;

**Приклад 1.27**

Дударев І. М., Панасюк С. Г. Технологічні розрахунки переробних та харчових виробництв : навч. посіб. Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2019. 432 с.

Дахно І. І., Алієва-Барановська В. М. Право інтелектуальної власності : навч. посіб. / за ред. І. І. Дахна. Київ : ЦУЛ, 2015. 560 с.

Підвищення харчової цінності хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів : монографія / Н. П. Буяльська та ін. Чернігів : ЧНТУ, 2020. 122 с.

• **частини видання (розділи):**

**схема:** Прізвище 1 Ініціали 1, Прізвище 2 Ініціали 2, Прізвище 3 Ініціали 3. Назва частини. *Назва книги* : підназва книги / за ред. Ініціали 1 Прізвище 1, Ініціали 2 Прізвище 2. Місце видання : Видавництво, Рік видання. Номери сторінок;

**Приклад 1.28**

Саблук П. Т. Напрямки розвитку економіки в аграрній сфері виробництва. *Основи аграрного підприємництва* / за ред. М. Й. Маліка. Київ, 2000. С. 5–15.

Бондарчук З. В., Куриленко Ю. М. Плодово-ягідні безалкогольні напої підвищеної біологічної цінності. *Інноваційні напрями розвитку харчових технологій* : колективна монографія / за заг. ред. Н. А. Нагурної. Черкаси : ЧДТУ, 2020. С. 56–63.

• **тези доповідей, матеріали конференцій:**

**схема:** Прізвище 1 Ініціали 1, Прізвище 2 Ініціали 2, Прізвище 3 Ініціали 3. Назва тез (матеріалу). *Назва конференції* : відомості про видання, місто проведення, дата проведення / редкол. : Ініціали 1 Прізвище 1 та ін. Місце видання : Видавництво, Рік видання. Номери сторінок;

**Приклад 1.29**

Зінчук Т. О. Економічні наслідки впливу продовольчих органічних відходів на природні ресурси світу. *Органічне виробництво і продовольча безпека* : зб. матеріалів доп. учасн. II Міжнар. наук.-практ. конф. Житомир : Полісся, 2014. С. 103–108.

Солоницька І. В., Добровольський В. В. Проблеми хлібопекарського ринку України та світові тренди хлібопечення. *Технології харчових продуктів і комбікормів* : зб. тез доп. Міжнародної науково-практичної конференції, м. Одеса, 20–23 вересня 2022 р. / за заг. ред. Б. В. Єгорова. Одеса : ОНТУ, 2022. С. 4–6.

- **статті із продовжуваних та періодичних видань:**

**схема:** Прізвище 1 Ініціали 1, Прізвище 2 Ініціали 2, Прізвище 3 Ініціали 3. Назва статті. Назва видання (журналу). Рік видання. Том видання, Номер видання. Номери сторінок. DOI (дата звернення: ЧЧ.ММ.РРРР);

**Приклад 1.30**

Антоненко А. В. Борошно з пророщеного зерна вівса як основа для борошняних кондитерських виробів. *Наукові праці ОНАХТ*. 2014. Т. 1, № 46. С. 149–153.

Точкова О., Мельник О., Хомічак Л., Ярмолюк М. Використання амарантової олії у дитячому харчуванні. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10, № 19. С. 141–150. DOI: 10.31073/foodresources2022-19-16 (дата звернення: 02.03.2023).

Kutoš T., Golob T., Kač M., Plestenjak A. Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chemistry*. 2003. Vol. 80, No 2. P. 231–235. URL: [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00258-3](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00258-3) (date of access: 02.03.2023).

- **патенти:**

**схема:** Назва патенту : номер патенту країна : рубрики міжнародної патентної класифікації. Номер заявки ; дата подання заявки ; дата опублікування патенту, Номер бюлетеня. Кількість сторінок;

**Приклад 1.31**

Спосіб виготовлення соусу майонезного з вівсяним молоком : пат. 152166 Україна : A23L27/60, A23D9/00. № u202202094 ; заявл. 20.06.22 ; опубл. 02.11.22, Бюл. № 44. 4 с.

- **стандарти:**

**схема:** Позначення та номер стандарту. Назва стандарту. Дата, з якої є чинним (у форматі РРРР-ММ-ЧЧ). Вид. офіц. Місто : Видавництво, Рік. Кількість сторінок;

**Приклад 1.32**

ДСТУ 4150:2003. Соки, напої сокові, нектари плодово-ягідні, овочеві та з баштанних культур. Загальні технічні умови. Чинний від 2003-02-24. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 15 с.

- **електронні ресурси:**

**схема:** Назва матеріалу. Назва ресурсу : вебсайт. URL (дата звернення: ЧЧ.ММ.РРРР);

**Приклад 1.33**

Органічні продукти. *Федерація органічного руху України*. URL: <https://organic.com.ua/organichni-produkti/> (дата звернення: 01.03.2023).

Овсієнко С. М. Показники якості м'якого сиру з рослинними наповнювачами. *Аграрна наука та харчові технології*. 2019. № 5 (2). С. 102–114. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/anxt\\_2019\\_5%282%29\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/anxt_2019_5%282%29_13) (дата звернення: 01.03.2023).

- **автореферати дисертацій та дисертації:**

**схема 1:** Прізвище Ініціали. Назва дисертації : дис. ... д-ра філософ. (PhD) : Номер спеціальності – Назва спеціальності. Місто, Рік. Кількість сторінок;

**схема 2:** Прізвище Ініціали. Назва автореферату : автореф. дис. ... д-ра філософ. (PhD) : Номер спеціальності – Назва спеціальності. Місто, Рік. Кількість сторінок.

**Приклад 1.34**

Дорохович В. В. Розробка раціональних технологій діабетичних борошняних кондитерських виробів на основі фруктози : автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.18.16. Київ, 2000. 20 с.

Дідух Н. А. Наукові основи розробки технологій молочних продуктів функціонального призначення : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.16. Одеса, 2008. 37 с.

Синиця О. В. Розроблення м'ясних продуктів з використанням низькотемпературних режимів оброблення : дис. ... д-ра філософ. (PhD) : 181 – Харчові технології. Одеса, 2021. 182 с.

**Оформлення внутрішньотекстових посилань та списку використаних джерел відповідно до APA style [45]:**

- **внутрішньотекстове посилання для парафраза:**

**схема 1** (1 автор): Текст (Прізвище, Рік, Номер сторінки);

**схема 2** (1 автор): Текст Прізвище (Рік);

**схема 3** (2 автори): Текст (Прізвище & Прізвище, Рік);

**схема 4** (2 автори): Текст Прізвище та Прізвище (Рік);

**схема 5** (3 автори): Текст (Прізвище, Прізвище, & Прізвище, Рік);

**схема 6** (4 автори і більше): Текст (Прізвище та ін./et. al., Рік);

**схема 7** (без автора): Текст (Назва видання, Рік);

**схема 8** (на кілька робіт різних авторів): Текст (Прізвище & Прізвище, Рік; Прізвище, Рік; Прізвище, Рік);

**схема 9** (без року публікації): Текст (Прізвище, б.р./n.d.);  
**схема 10** (кілька робіт одного автора, що опубліковані в один рік):  
Текст (Прізвище, 2021a; Прізвище, 2021b);

### Приклад 1.35

...показники якості зерна (Шпак, 2021, с. 58)...  
...технології соусів (Кравчук, 2022)...  
...на думку Ревенко та Кравчука (2015)...  
...seed quality (Stankevych, Borta, & Penaki, 2020)...  
...борошномельних заводів (Борта та ін., 2020)...  
...the type of energy (Tushar et al., 2010)...  
...широкого асортименту продукції (Статистичні дані, 2021)...  
...якісні показники висвітлені в наукових працях (Терешкен, 2006;  
Савчук & Марчук, 2016)...  
...the experiment results (Banko, n.d.)...  
...innovative technologies (Lock, 2019a; Lock, 2019b)...

• **внутрішньотекстове посилання для прямої цитати:** цитата береться у лапки; схеми оформлення аналогічні як і для парафраза;

### • оформлення списку використаних джерел:

**схема 1** (книга 1–7 авторів): Прізвище 1, Ініціали 1, Прізвище 2, Ініціали 2, Прізвище 3, Ініціали 3, Прізвище 4, Ініціали 4, & Прізвище 5, Ініціали 5. (Рік). *Назва книги: Підназва книги* (Номер видання). Місце видання : Видавництво;

### Приклад 1.36

Дударев, І. М., & Панасюк, С. Г. (2019). *Технологічні розрахунки переробних та харчових виробництв : навчальний посібник*. Луцьк: ЛНТУ.

Fellows, P. J. (2016). *Food processing technology: principles and practice* (4th ed.). Woodhead Publishing.

Kittler, P. G., Sucher, K. P., & Nelms, M. N. (2012). *Food and culture* (6th ed.). Belmont, CA: Wadsworth.

**схема 2** (книга 8 і більше авторів): Прізвище 1, Ініціали 1, Прізвище 2, Ініціали 2, Прізвище 3, Ініціали 3, Прізвище 4, Ініціали 4, Прізвище 5, Ініціали 5, Прізвище 6, Ініціали 6 ... Прізвище останнього автора, Ініціали. (Рік). *Назва книги: Підназва книги* (Номер видання). Місце видання: Видавництво;

### Приклад 1.37

Дуденко, Н. В., Павлоцька, Л. Ф., Коваленко, В. О., Євлаш, В. В., Антоненко, С. П., Головка, М. П. ... Чернова, Л. О. (2015). *Наукові основи технології та системного використання харчових продуктів оздоровчої дії для різних верств населення: монографія*. Харків: ХДУХТ.

**схема 3** (книга за повною редакцією): Прізвище редактора, Ініціали. (Ред.). (Рік). *Назва книги: Підназва книги* (Номер видання). Місце видання: Видавництво;

### Приклад 1.38

Barbosa-Cánovas, G. V., Tapia, M. S., & Cano, M. P. (Eds.). (2004). *Novel food processing technologies*. CRC press.

Steen, D., & Ashurst, P. R. (Eds.). (2008). *Carbonated soft drinks: formulation and manufacture*. John Wiley & Sons.

**схема 4** (книга без автора): *Назва книги: Підназва книги* (Номер видання). (Рік). Місце видання: Видавництво;

### Приклад 1.39

*Merriam-Webster's collegiate dictionary* (11th ed.). (2005). Springfield, MA: Merriam-Webster.

*Українська мова*. (2009). Київ: НТУУ «КПІ».

**схема 5** (частина книги): Прізвище автора глави, Ініціали. (Рік). Назва глави: Підназва глави. В/Ін Ініціали Прізвище редактора або укладача, *Назва книги: Підназва книги* (Номер видання). (Номери сторінок). Місце видання: Видавництво;

### Приклад 1.40

Anadón, A., Martínez-Larrañaga, M., Arés, I., & Martínez, M. A. (2016). Prebiotics and probiotics: An assessment of their safety and health benefits. In R. R. Watson, & V. R. Preedy (Eds.), *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics*. (pp. 3–23). United States: Academic Press.

Emadzadeh, B., & Ghorani, B. (2015). 5 – Oils and fats in texture modification. In J. Chen, & A. Rosenthal (Eds.), *Modifying food texture* (pp. 99–112). Woodhead Publishing.

Бондарчук, З. В., & Куриленко, Ю. М. (2020). Плодово-ягідні безалкогольні напої підвищеної біологічної цінності. В Н. А. Нагурна (Ред.), *Інноваційні напрями розвитку харчових технологій: колективна монографія* (с. 56–63). Черкаси: ЧДТУ.

**схема 6** (автореферат або дисертація): Прізвище, Ініціали. (Рік). Назва роботи: Підназва роботи [Тип роботи, Навчальний заклад (університет) чи наукова установа, Місто];

#### Приклад 1.41

Синиця, О. В. (2021). *Розроблення м'ясних продуктів з використанням низькотемпературних режимів оброблення* [Дис. д-ра філософії (PhD), Одеська національна академія харчових технологій]. Одеса: ОНАХТ. [https://ontu.edu.ua/dissertation\\_reports\\_phd](https://ontu.edu.ua/dissertation_reports_phd)

Cordell, D. (2010). *The story of phosphorus: Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security* [PhD thesis, University of Technology Sydney].

**схема 7** (стаття в журналі): Прізвище, Ініціали. (Рік). Назва статті. Назва журналу, Том(Випуск), Номери сторінок. DOI;

#### Приклад 1.42

Johnson, L. K., Dunning, R. D., Bloom, J. D., Gunter, C. C., Boyette, M. D., & Creamer, N. G. (2018). Estimating on-farm loss at the field level: a methodology and applied case study on a North Carolina farm. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 243–250.

Salehi, F., & Aghajanzadeh, S. (2020). Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.011>

Drulyte, D., & Orlien, V. (2019). The effect of processing on digestion of legume proteins. *Foods*, 8(6), 224. <https://doi.org/10.3390/foods8060224>

**схема 8** (матеріали конференцій): Прізвище, Ініціали. (Рік, Місяць День). Назва виступу, Відомості щодо конференції. Місце видання: Видавництво; також можливі варіанти оформлення за схемами 5 та 7;

#### Приклад 1.43

Солоницька, І. В., & Добровольський, В. В. (2022, Вересень 20–23) *Проблеми хлібопекарського ринку України та світові тренди*

*хлібопечення*. Міжнародна науково-практична конференція «Технології харчових продуктів і комбікормів». Одеса: ОНТУ.

Dudarev, I., Kirchuk, R., Hunko, Y., & Panasyuk, S. (2020). Modeling of mixing bulk materials. In V. Ivanov et al. (Eds.), *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 54–64). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_6)

**схема 9** (патент): Прізвище винахідника, Ініціали. (Рік публікації). Назва винаходу. Номер патенту з вказуванням країни. Місце видання: Патентне відомство;

#### Приклад 1.44

Дударев, І. (2022). Спосіб виготовлення соусу майонезного з вівсяним молоком. *Патент України 152166*. Київ: ДП «Український інститут інтелектуальної власності».

Williams, D. (2005). Screw less clip mount computer drive. *U.S. Patent No. 6,885,550*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

**схема 10** (електронний ресурс): Дані щодо ресурсу (аналогічно до вище наведених схем, але без вказування видавництва);

#### Приклад 1.45

Food. (n.d.). In Merriam-Webster's online dictionary (11th ed.). Retrieved from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/food>

National Institute of Mental Health. (2018, July). Anxiety disorders. U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health. <https://www.nimh.nih.gov/health/topics/anxiety-disorders/index.shtml>

World Health Organization. (2018, May 24). The top 10 causes of death. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>

Овсієнко, С. М. (2019). Показники якості м'якого сиру з рослинними наповнювачами. *Аграрна наука та харчові технології*, 5(2), 102–114. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/anxt\\_2019\\_5%282%29\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/anxt_2019_5%282%29_13)

**схема 11** (кілька робіт одного автора (авторів – якщо три перші автори однакові), що опубліковані в один рік): Дані щодо документів аналогічно до вище наведених схем, але рік видання позначається: (2022a), (2022b), (2022c)...

### Приклад 1.46

Соколова, Л. В. (2013а). Якісна ідентифікація біологічно активних речовин сублімованого порошку аронії. *Медична хімія*, 15(1), 76–80.

Соколова, Л. В. (2013б). Сублімований порошок аронії – перспективне джерело мінеральних речовин. *Вісник фармації*, 1(73), 23–25.

**схема 12** (стандарт): Організація. (Рік). *Назва стандарту* (Номер стандарту). Видавництво;

### Приклад 1.47

Держспоживстандарт України. (2004). *Соки, напої сокові, нектари плодово-ягідні, овочеві та з багатанних культур. Загальні технічні умови* (ДСТУ 4150:2003).

International Organization for Standardization. (2016). *Sensory analysis – Methodology – General guidance for establishing a sensory profile* (ISO Standard No 13299:2016).

**схема 13** (джерело – Wikipedia): Назва статті. (Рік, Місяць День – дата останнього редагування статті). В/In джерело. URL.

### Приклад 1.48

Carbohydrate. (2023, February 17). In *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Carbohydrate>

Загальноприйняті скорочення, які використовуються під час оформлення списку використаних джерел, українською та англійською мовами подані в **таблиці 1.6**. При скороченні слів у бібліографічному описі послуговуються вимогами та правилами державного стандарту ДСТУ 3582-2013 [46].

*Таблиця 1.6* – Загальноприйняті скорочення для оформлення списку використаних джерел українською та англійською мовами

Скорочення українською мовою	Скорочення англійською мовою
1	2
Автореф. (автореферат)	Extended abstract
б.р. (без року)	n.d. (no date)
В кн. (в книзі)	In
вид. (видання)	ed. (edition, приклад: 4 <sup>th</sup> ed.)
Вип. (випуск)	iss (issue)

### Закінчення таблиці 1.6

1	2
Гл. (глава)	Ch. (chapter)
Дис. (дисертація)	Dissertation, thesis
Дод. (додаток)	Suppl. (supplement)
№ (номер)	No (number)
пер. (перекладач)	Trans. (translator)
Ред. (редактор)	Ed. (editor)
Редкол. (редакційна колегія)	Eds. (editors)
С., с. (сторінка, сторінки)	p., pp. (page, pages)
Спец. вип. (спеціальний випуск) чи спец. № (спеціальний номер)	Spec. issue (special issue) or Spec. No. (special number)
Т. (том)	Vol. (volume)
та ін.	et. al. (and other people)
Ч. (частина)	Pt. (part)

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 1.29.** Скласти парафраз із поданої цитати та оформити внутрішньотекстове посилання на джерело.

Цитата: «Тартразин входить у список дозволених харчових добавок, але результати деяких досліджень показують, що він може провокувати алергію і знижувати концентрацію уваги... Тартразин (E102) дозволений до вживання в дозі до 7,5 мг/кг. Серед переліку харчових продуктів, у які додається тартразин, слід вказати морозиво, гірчицю, йогурти, газовані напої, кондитерські вироби, алкогольні та безалкогольні напої, макарони, молочні вироби, сири, кетчупи, соуси, драже, джеми, пюре тощо» [47].

Джерело цитати: Морозова, Л. (2022). Синтетичний харчовий барвник тартразин (E102): безпека застосування та вплив на організм людини. *Продовольчі ресурси*, 10(19), 99–108.

**Завдання 1.30.** Оформити внутрішньотекстове посилання для прямої цитати із поданого джерела.

Цитата: «За отриманими результатами дослідження рекомендується в подальшому при розробці технології безглютенових кексів використовувати рисове та кукурудзяне борошно тонкого помелу» [48].

Джерело цитати: Юдіна, Т., & Безрученко, О. (2022). Технологічні властивості борошна круп'яних культур для виробництва безглютенових кексів. *Продовольчі ресурси*, 10(19), 176–183.

**Завдання 1.31.** Скласти парафраз із використанням прямої цитати та оформити підрядкове посилання на джерело із використанням астериску.

Цитата: «За отриманими результатами дослідження рекомендується в подальшому при розробці технології безглютенових кексів використовувати рисове та кукурудзяне борошно тонкого помелу» [48].

Джерело цитати: Юдіна, Т., & Безрученко, О. (2022). Технологічні властивості борошна круп'яних культур для виробництва безглютенових кексів. *Продовольчі ресурси*, 10(19), 176–183.

**Завдання 1.32.** Скласти парафраз із використанням прямого цитування із двох джерел та оформити підрядкове посилання на джерела із використанням цифр.

Перша цитата: «Розробка нових видів функціональних продуктів харчування – актуальний напрямок розвитку харчової галузі на теперішній час. Такі продукти складають важливу частину раціону харчування сучасної людини, про що свідчить неухильне зростання їх споживання у світі» [49].

Друга цитата: «У вітчизняній науковій практиці терміном «функціональні харчові продукти» позначають широкий спектр харчових продуктів, серед яких: носії природних й органічних речовин, низькокалорійні та безкалорійні продукти для контролю ваги, продукти збагачені вітамінами та мікроелементами, напої енергетичного характеру, пробіотичні продукти, молочні продукти зі специфічними властивостями тощо» [50].

Джерело першої цитати [49]: Новгородська, Н., & Берник, І. (2022). Розробка технології сиркових паст з харчовими волокнами. *Продовольчі ресурси*, 10(18), 100–108. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-10>

Джерело другої цитати [50]: Борсолук, Л., Войцехівська, Л., Вербицький, С., & Лизова, В. (2017). Дослідження фізико-хімічних і технологічних властивостей рослинної сировини у складі функціональних паштетних продуктів. *Продовольчі ресурси*, 5(09), 126–135.

**Завдання 1.33.** Скласти парафраз із фрагментів статей та оформити затекстове посилання (форма в тексті та за текстом) на джерела відповідно до правил і вимог APA style.

Перший фрагмент статті: «Значне зменшення поголів'я тварин у сільському господарстві на сьогоднішній день вимагає від м'ясної галузі застосування безвідходних технологій, тобто повної переробки сировини і максимального збереження продукту» [51].

Другий фрагмент статті: «При створенні нових видів м'ясних продуктів необхідно розробити такі рецептури з використанням комбінацій рослинних і тваринних білків, які б найбільшою мірою відповідали вимогам, що пред'являються до сучасних продуктів з урахуванням традиційно звичних для споживача органолептичних показників продукту, одночасно знижуючи витрати м'ясної сировини. У розроблених нових видах м'ясних напівфабрикатів при частковій заміні м'ясної сировини рослинними інгредієнтами необхідною умовою є збереження органолептичних показників...» [52].

Джерело першого фрагменту [51]: Новгородська Н. В. Використання свинини з ознаками PSE та DFD у ковбасному виробництві. *Аграрна наука та харчові технології*. 2018. Т. 1, № 100. С. 116–123.

Джерело другого фрагменту [52]: Новгородська Н. В. Використання рослинної клітковини у м'ясних напівфабрикатах. *Аграрна наука та харчові технології*. 2018. Т. 3, № 102. С. 159–168.

**Завдання 1.34.** Оформити примітку (для позначення примітки використати астериск) для додаткового пояснення матеріалу, що поданий в **таблиці 1.6**. У примітці має бути зазначено, що обчислення відсотків виробництва м'яса в 2021 році по відношенню до 2017 року проведене авторами статті:

Баль-Прилипка, Л. В., Ніколаєнко, М. С., Чередніченко, О. О., Даниленко, С. Г., Степасюк, Л. М., & Назаренко, М. В. (2022). Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі та практичні підходи до вдосконалення рецептур ковбасних виробів. *Продовольчі ресурси*, 10(19), 26–37.

Також відповідне позначення (\*) має бути над даними четвертої графі **таблиці 1.7**.

Таблиця 1.7 – Виробництво м'яса в Україні в 2017 та 2021 роках

Види м'яса	2017	2021	2021 у % до 2017
Яловичина і телятина, тис. т	363,5	311,0	85,6
Свинина, тис. т	735,9	724,0	98,4
М'ясо птиці, тис. т	1184,7	1174,0	116,0

Джерело інформації: цит. за: [53]

**Завдання 1.35.** Оформити примітку (для позначення примітки використати астериск) для зазначення, що **таблиця 1.8** розроблена за матеріалами статті:

Сичевський, М. П., Шпичак, О. М., Коваленко, О. В., Куць, О. І., Бокій, О. В. (2020). Тенденції та перспективи розвитку хлібопекарського виробництва в європейських країнах. *Економіка АПК*, 7, 54–67.

Також позначення (\*) має бути над назвою **таблиці 1.8**. Джерело інформації оформити згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 та ДСТУ 8302:2015.

Таблиця 1.8 – Структура виробників хлібопекарської продукції в європейських країнах

Країни	Частка у виробництві хлібопекарської продукції, %	
	Приватні пекарні	Промислові підприємства
Греція	95	5
Італія	85	15
Україна	65	35
Німеччина	60	40
Фінляндія	25	75
Нідерланди	15	85

Джерело інформації: *цит. за: [54]*

**Завдання 1.36.** Оформити затекстові посилання (форма в тексті та за текстом) відповідно до правил APA style для джерел інформації:

1. ДСТУ 4561:2006. Соуси салатні. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2007.

2. ДСТУ 5028-2008. Яйця курячі харчові. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2009.

3. Загальна характеристика соусів та їх класифікація. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [https://vuzlit.ru/425911/zagalna\\_harakteristika\\_sousiv\\_klasifikatsiya](https://vuzlit.ru/425911/zagalna_harakteristika_sousiv_klasifikatsiya) (звернення: 05.10.2022).

4. Геліх А., Применко В., Василенко О., Приходько І. Дослідження показників якості та безпечності майонезу на основі конопляної олії. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2021. Т. 4, № 2. С. 345–360.

5. De Melo A. N. F., de Souza E. L., da Silva Araujo V. B., Magnani M. Stability, nutritional and sensory characteristics of French salad dressing made with mannoprotein from spent brewer's yeast. *LWT – Food Science and Technology*. 2015, № 62(1). P. 771–774. DOI:10.1016/j.lwt.2014.06.050

6. Патент на корисну модель № 13461 Україна, МПК А23L 1/24. Спосіб одержання майонезу з борошном рисової крупи / Чоні І. В.; Заявлено 16.02.2005; Опубл. 17.04.2006; Бюл. № 4.

7. Патент на корисну модель № 124216 Україна, МПК А23L 27/60. Горобиниовий майонезний продукт / Бабенко В. І., Бахмач В. О., Поросюк О. В.; Заявлено 06.11.2017; Опубл. 26.03.2018; Бюл. № 6.

8. Kerksick C. M. Requirements of proteins, carbohydrates, and fats for athletes. In: Editor(s): Debasis Bagchi, Sreejayan Nair, Chandan K. Sen (Second Edition). *Nutrition and Enhanced Sports Performance*. 2019. P. 443–459. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813922-6.00038-2>

9. Цебро А. Д. Фізико-хімічні та органолептичні показники рослинного молока / А. Д. Цебро // Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту. Сучасний розвиток технологій тваринництва. Інноваційні підходи в харчових технологіях: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. (Білоцерківський НАУ, 21 жовтня 2021 р.). – Біла Церква, 2021. – С. 39–41.

10. Товажнянський Л. Л., Бухкало С. І., Капустенко П. О., Арсеньєва О. П., Орлова Є. І. Харчові технології у прикладах і задачах: Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 576 с.

**Завдання 1.37.** Оформити список використаних джерел відповідно до правил ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 та ДСТУ 8302:2015:

1. Дончевська, Р. С., Божко, Т. В., Рубаха, В. В. Якість майонезу «Провансаль» на ринку України. *International Scientific Journal «Internauka»*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/15728636445202.pdf> (звернення 05.10.2022).

2. Божко, Т., Дончевська, Р., Шаповалова, Н. (2019). Ринок соусної продукції: детермінанти розвитку в Україні. *Товари і ринки*, № 4. С. 26–39.

3. Ma, Z., & Boye, J. I. (2013). Advances in the design and production of reduced-fat and reduced-cholesterol salad dressing and mayonnaise: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 648–670. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1000-9>

4. Патент на корисну модель № 58945 Україна, МПК А23L 1/24, А23L 1/29, А23L 1/0524, А23L 1/225. Соус-майонез «Студентський» / Антоненко А. В., Кравченко М. Ф., Михайлик В. С., Марцин Т. О., Криворучко І. М.; Заявлено 27.10.2010; Опубл. 26.04.2011; Бюл. № 8.

5. Медвідь, І. М., Шидловська, О. Б., & Доценко, В. Ф. (2020). Особливості використання альтернативних видів молока в технології кавових напоїв. Збірник матеріалів XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді», ОНАХТ, Одеса. С. 80–82.

6. ДСТУ 2368:2004 – «Напої безалкогольні. Виробництво. Терміни та визначення понять». Київ, 2005. Держспоживстандарт України (чинний від 20 вересня 2004 року).

7. Шпирко, Т. В. Розробка біотехнології переробки зернової сировини в харчові добавки [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 03.00.20 «Біотехнологія» / Шпирко Тетяна Василівна ; наук. кер. Л. В. Капрельянц; Одес. нац. акад. харч. технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2003. – 18 с.

8. Стеценко, Н. Сирковий десерт функціональної дії, призначений для поліпшення роботи шлунково-кишкового тракту. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 16 листопада 2022 р., м. Київ / Національний університет харчових технологій.* – Київ : НУХТ, 2022. – С. 11–13.

9. Технології продуктів з модифікованим жировим складом: реалії та тенденції : монографія / О. А. Савченко, О. В. Грек, А. Б. Петрина, О. А. Топчій, О. О. Красуля. — К., 2018. – 250 с.

10. Поліщук, Г. Є. Технологія сиру: навчальний посіб. / Г. Е. Поліщук, А. О. Бовкун, С. С. Колесникова. – К.: НУХТ, 2009. – 151 с.

**Завдання 1.38.** Оформити затекстові посилання (форма в тексті та за текстом) у фрагменті статті відповідно до правил APA style.

Фрагмент статті: «Амарантове борошно виступає джерелом доступного рослинного білка (15 %) [11\*, 12\*]. Введення амарантового борошна в кількості 10 % до маси пшеничного борошна забезпечує збільшення вмісту цинку і фосфору в 1,2–1,5 рази, кальцію – 2,4 рази порівняно з пшеничним хлібом без добавок [15\*]» [55].

[11\*] Pivovarov A., Mykolenko S., Hez' Y., Shcherbakov S. Plasma-chemically activated water influence on staling and safety of sprouted bread. *Journal of Food Science and Technology*. 2018. Vol. 12. No 2. P. 100–107.

[12\*] Sanz-Penella J. M., Wronkowska M., Soral-Smietana M. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT – Food Science and Technology*. 2013. Vol. 50. No 2. P. 679–685.

[15\*] Миколенко С. Ю., Царук Л. Ю., Чурсінов Ю. О. Вплив продуктів переробки амаранту і чіа на якість хліба. *Вісник НТУ «ХПИ»*, 2019. № 5(1330). С. 145–151.

## 1.5 АВТОРСЬКИЙ ПРОФІЛЬ ТА ІДЕНТИФІКАТОР ДОСЛІДНИКА, ІМПАКТ-ФАКТОР ЖУРНАЛУ

**Авторський профіль дослідника** містить інформацію щодо місця роботи дослідника, його публікаційної активності, кількості цитувань його наукових праць, напряму наукових досліджень, співавторів наукових праць, наукометричних показників дослідника тощо. Авторський профіль у наукометричній базі створюється дослідником самостійно (наприклад, Google Академія (*рис. 1.7*)) або ж автоматично, якщо наукові праці опубліковані у виданнях, що індексуються в цій базі (наприклад, Scopus (*рис. 1.8*)). Авторський профіль допомагає поширювати інформацію щодо публікаційної активності дослідника, наукових інтересів і знайти зацікавлених осіб у співпраці над спільними дослідницькими проектами. Дослідник може створити або отримати авторський профіль у наукометричних базах (Scopus, Web of Science, Google Академія), соціальних мережах для науковців (ResearchGate, Academia.edu, Mendeley) та проєкті (ORCID (*рис. 1.9*)).

Авторський профіль дослідника має унікальний **ідентифікатор** (Author ID) – алфавітно-цифровий або цифровий код, що дозволяє пов'язати публікації дослідника з його профілем та відрізнити дослідників з однаковими прізвищами й іменами, забезпечує видимість публікацій у глобальній мережі.

### Приклад 1.49

ідентифікатор дослідника в Scopus: 55862133300;  
ідентифікатор дослідника в Web of Science: S-1649-2019;  
ідентифікатор дослідника в ORCID: 0000-0002-2016-5342.

Якість наукових досліджень, значущість результатів роботи дослідника та впливовість наукового видання (журналу) в певній галузі науки оцінюється за допомогою наукометричних показників: індекс цитування; індекс Гірша (*h*-індекс); імпаکت-фактор (*IF*) тощо.

**Індекс цитувань (Science Citation Index – SCI)** – це показник, що характеризує значущість наукової праці дослідника чи колективу дослідників та визначається як кількість цитувань цієї праці в інших наукових працях.

### Приклад 1.50

Якщо стаття процитована у вісімнадцяти наукових публікаціях, відповідно, індекс цитувань статті становить 18.

**Предметна область досліджень** → Місце роботи/навчання

**Igor Dudarev**  
Інші імена: І.М. Дударев, И.Н. Дударев  
Lutsk National Technical University/Lutskий національний технічний університет  
Підтвержена електронна адреса в lntu.edu.ua  
agricultural engineering food process engineering agricultural technology post.harvest technology

**Інформація щодо публікацій** → Кількість цитувань статті

НАЗВА	ПОСИЛАННЯ	РІК
Збирання та первинна переробка льону-довгунця: монографія Фю-Длаух, ІМ Дударев, РВ Крчук Львів: Ред.-взд. відділ ЛНТУ, 10-11	27	2008
Теоретичні основи розрахунку машин для універсальної технології збирання та післязбиральної обробки льону: Монографія ІМ Дударев Львів: Ред.-взд. відділ ЛНТУ	12	2013
Дослідження впливу параметрів шару льноосиривини на інтенсивність вентилування ІМ Дударев Проблеми леглої и текстильної промисловості України, 16	11	2010
A review of fibre flax harvesting: conditions, technologies, processes and machines I Dudarev Journal of Natural Fibers, 1-13	10	2020

**Наукометричні показники** → ПЕРЕКЛЮЧАТИ ВСІ

Показник	Значення
Цитування	151
h-індекс	7
i10-індекс	5
Усі	3 2018

**Співавтори публікацій** → РЕДАГУВАТИ

Тараїмович Ірина (Irina Tarajmowich)  
Львівський національний технічний...  
Ruslan Kirchuk

Рисунок 1.7 – Авторський профіль дослідника в Google Академія  
Оформлено з використанням джерела: <https://scholar.google.com>

This author profile is generated by Scopus. Learn more

**Dudarev, I.**  
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-2016-5342>

11 Citations by 11 documents  
11 Co-authors  
2 h-index (View h-graph)

**ID дослідника в Scopus** → ID дослідника в ORCID

**h-індекс дослідника в Scopus**

Document & citation trends  
Scopus Preview  
Scopus Preview users can only view a limited set of features. Check your institution's access to view all documents and features.  
Check access

Documents 11 Co-Authors 0 Awarded Grants  
Cited by (11) Preprints (0)

**Інформація щодо публікації** → Кількість цитувань публікації

Article  
Development of Resource-Saving Technology of Linseed Harvesting  
Dudarev, I., Sny, V.  
Journal of Natural Fibers, 2020, 17(9), pp. 1307-1316  
Show abstract Related documents

4 Citations

Рисунок 1.8 – Авторський профіль дослідника в Scopus  
Оформлено з використанням джерела: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55862133300>

Printable version

is this your? Sign in to start editing

**ID дослідника в ORCID**

Name  
**Igor Dudarev**

Also known as  
Дударев І.М., Дударев И.Н., I. Dudarev

**Biography**  
I'm a Professor in the Department of Technologies and Equipment of Processing Industries at Lutsk National Technical University. I attended Lutsk National Technical University in Ukraine, where I received Master's degree in Agricultural Engineering. I received Ph.D. in Agricultural Engineering from National Science Center "Institute of Mechanization and Electrification Agriculture" in 2007. I received Dr. of Technical Sciences in Process Engineering from Kherson National Technical University in 2016.  
My research interests lie in the areas of Food Process Engineering and Food Technology. I'm the author of over one hundred papers on Food Process Engineering and Food Technology. I hold 83 patents deriving from my research.

**Websites & social links**  
Dudarev Igor

**Other IDs**  
Scopus Author ID: 55862133300  
ResearcherID: 51649-2019

**Keywords**  
mixing process, separation process, flax harvesting, agricultural engineering, food processing

**Countries**  
Ukraine

**ID дослідника в Scopus та Web of Science**

**Activities**

- Employment (4)** ← Працевлаштування дослідника
- Education and qualifications (5)** ← Освіта та кваліфікація дослідника
- Works (33)** ← Наукові публікації дослідника
- Peer review (6)** ← Діяльність дослідника в якості рецензента

Expand all

Рисунок 1.9 – Авторський профіль дослідника в ORCID  
Оформлено з використанням джерела: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-2016-5342>

Також визначають сумарну кількість цитувань усіх публікацій дослідника та кількість цитувань усіх публікацій дослідника без самоцитувань.

### Приклад 1.51

Дослідник має шість публікацій, кількість цитувань та самоцитувань яких подана в **таблиці 1.9**.

Таблиця 1.9 – Кількість цитувань та самоцитувань публікацій

Показник	Номер публікації					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Сумарна кількість цитувань	2	5	1	7	4	1
Кількість самоцитувань	0	1	1	3	0	0

Ураховуючи дані **таблиці 1.9**, встановлено, що сумарна кількість цитувань усіх (шести) публікацій автора становить 20, а кількість цитувань без самоцитувань:  $20 - 4 = 16$ .

**Індекс Гірша ( $h$ -індекс)** – це показник, який кількісно характеризує діяльність дослідника залежно від кількості його публікацій та цитувань цих публікацій. Дослідник має індекс Гірша рівний  $h$ , якщо кожна з його  $h$  публікацій цитуються щонайменше  $h$  разів. Що більше значення  $h$ -індексу, то вища продуктивність дослідника та значущість результатів його наукових досліджень.

### Приклад 1.52

Дослідник має вісім публікацій, кількість цитувань яких подана в **таблиці 1.10**.

Таблиця 1.10 – Кількість цитувань публікацій

Показник	Номер публікації							
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Кількість цитувань	3	0	5	6	11	5	7	9

Із восьми публікацій дослідника шість публікацій мають кількість цитувань п'ять та більше, відповідно,  $h$ -індекс становитиме 5. Індекс Гірша не може становити 6, оскільки лише чотири публікації мають шість цитувань та більше (необхідно, щоб щонайменше шість публікацій мали шість та більше цитувань).

### Приклад 1.53

Дослідник має три публікації, кількість цитувань яких подана в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Кількість цитувань публікацій

Показник	Номер публікації		
	№ 1	№ 2	№ 3
Кількість цитувань публікацій	3	4	0

Із трьох публікацій дослідника дві публікації мають кількість цитувань два та більше, відповідно,  $h$ -індекс становитиме 2. Індекс Гірша не може становити 3, оскільки лише дві публікації мають три цитування та більше (необхідно, щоб щонайменше три публікації мали три та більше цитувань).

**Імпакт-фактор (IF)** – це показник, що кількісно характеризує авторитетність наукового видання (журналу). Що більше значення імпакт-фактору, то вища авторитетність наукового видання. Імпакт-фактор показує середню кількість цитувань у поточному році усіх опублікованих у науковому виданні статей за два попередні роки (або іншу кількість років):

$$IF = C/D, \quad (1.1)$$

де  $IF$  – імпакт-фактор наукового видання;

$C$  – кількість цитувань в поточному році статей, що опубліковані за два попередні роки у науковому виданні;

$D$  – загальна кількість статей, що опубліковані у науковому виданні за два попередні роки.

### Приклад 1.54

Протягом 2020–2021 років у журналі було опубліковано 28 статей. У 2022 році загальна кількість цитувань статей, що опубліковані протягом 2020–2021 років у журналі, становила 70.

Імпакт-фактор журналу за 2022 рік:  $IF_{2022} = 70/28 = 2,5$ .

Ще одним показником наукометричних баз, за яким оцінюють значущість наукового видання у певній галузі науки, є **квартиль наукового видання (Q)**. Усі наукові видання у певній галузі науки поділяють на чотири групи (квартілі)  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  і  $Q_4$ . Наукові видання, які перебувають у кварталі  $Q_1$ , є найбільш престижними (рейтинговими).

Наукове видання може одночасно перебувати в кількох квартилях, якщо в ньому публікуються наукові праці з різних предметних галузей науки. Квартиль  $Q_1$  містить наукові видання, які мають процентиль 75–99 %,  $Q_2$  – 50–74 %,  $Q_3$  – 25–49 %,  $Q_4$  – 1–24 %.

### Приклад 1.55

Процентиль наукового видання 55 означає, що імпакт-фактор цього видання більший за імпакт-фактор 55 % журналів у цій предметній області науки. Видання, процентиль якого 55, міститься в кварталі  $Q_2$ .

### Приклад 1.56

Наукове видання з імпакт-фактором  $IF = 5,6$  належить до двох предметних областей науки (subject area). В одній предметній області це видання має процентиль 36, а в другій – 22. Отже, в першій предметній області видання міститься у кварталі  $Q_3$ , а в другій предметній області науки – у кварталі  $Q_4$ .

Для обчислення квартилі наукового видання необхідно сформулювати рейтинг видань з певної предметної області науки за показником імпакт-фактору ( $IF$ ) видань. У рейтингу на першій позиції (перший ранг) розташовується видання, що має найбільший імпакт-фактор, а на останній позиції – видання, що має найменший імпакт-фактор. Коефіцієнт, за яким визначають приналежність видання до певного квартилі, обчислюють за виразом [56]:

$$X = R/N, \quad (1.2)$$

де  $R$  – ранг (позиція) наукового видання у рейтингу;

$N$  – кількість наукових видань у рейтингу.

За значенням коефіцієнта  $X$  визначається кварталі  $Q$ , в якому перебуває наукове видання (таблиця 1.12).

Таблиця 1.12 – Визначення квартилі  $Q$  наукового видання

Квартиль $Q$ наукового видання	Коефіцієнт $X$
$Q_1$	$0 < X \leq 0,25$
$Q_2$	$0,25 < X \leq 0,5$
$Q_3$	$0,5 < X \leq 0,75$
$Q_4$	$0,75 < X$

Джерело інформації: [56]

Квартиль  $Q$  наукового видання також можна визначити, обчисливши проценти за виразом [56]:

$$P = (N - R + 0,5) \cdot 100 / N. \quad (1.3)$$

### Приклад 1.57

У **таблиці 1.13** представлено рейтинг наукових видань з певної галузі науки за показником імпаکت-фактору. Визначимо, до якого квартилю належить видання, що у рейтингу займає позицію (ранг) 2.

Кількість наукових видань у рейтингу  $N = 14$ , тоді квартиль, до якого відноситься журнал з рангом 2, можна визначити за виразом (1.2):

$$X = R / N = 2 / 14 = 0,14.$$

Відповідно до **таблиці 1.12**, журнал міститься у квартилі  $Q1$ .

Таблиця 1.13 – Рейтинг наукових видань за імпакт-фактором

Ранг видання $R$	Наукове видання	Імпакт-фактор $IF$	Ранг видання $R$	Наукове видання	Імпакт-фактор $IF$
1	Журнал 1	8,3	8	Журнал 8	2,5
2	Журнал 2	8,0	9	Журнал 9	2,1
3	Журнал 3	6,4	10	Журнал 10	2,0
4	Журнал 4	6,3	11	Журнал 11	1,9
5	Журнал 5	6,0	12	Журнал 12	1,6
6	Журнал 6	5,8	13	Журнал 13	1,3
7	Журнал 7	2,7	14	Журнал 14	1,1

### Приклад 1.58

У певній предметній області в рейтингу за показником імпакт-фактору 826 наукових видань. Визначимо, до якого квартилю відносяться видання, що у рейтингу займають позиції 726 та 392.

#### Перший спосіб

Визначимо за виразом (1.2) коефіцієнт  $X$  та квартиль відповідно до **таблиці 1.12**:

- для рангу 726:  $X = 726 / 826 = 0,88$ , що відповідає  $Q4$ ;
- для рангу 392:  $X = 392 / 826 = 0,47$ , що відповідає  $Q2$ .

#### Другий спосіб

Визначимо за виразом (1.3) проценти:

- для рангу 726:  $P = (826 - 726 + 0,5) \cdot 100 / 826 = 12\%$ , тобто  $Q4$ ;
- для рангу 392:  $P = (826 - 392 + 0,5) \cdot 100 / 826 = 53\%$ , тобто  $Q2$ .

У наукометричній базі Google Академія авторський профіль (**рис. 1.7**) можна відкрити використовуючи простий пошук: ввівши ім'я та прізвище дослідника і перейшовши на сторінку його профіля натиснувши на прізвище, що підкреслене ризкою, у будь-якій його публікації зі списку).

У наукометричній базі Scopus можна переглянути авторський профіль дослідника (**рис. 1.8**) і наукометричні показники наукового видання, що індексується в цій базі. Для цього необхідно вибрати відповідні опції (**рис. 1.10**) та заповнити пошукову форму. Пошук профілів дослідників можна проводити, вказавши прізвище та ім'я дослідника, його місце роботи чи номер ORCID (**рис. 1.11**). Пошук видання можна проводити, вказавши галузь науки, до якої належить видання, або його назву, видавця чи ISSN номер тощо (**рис. 1.12**).

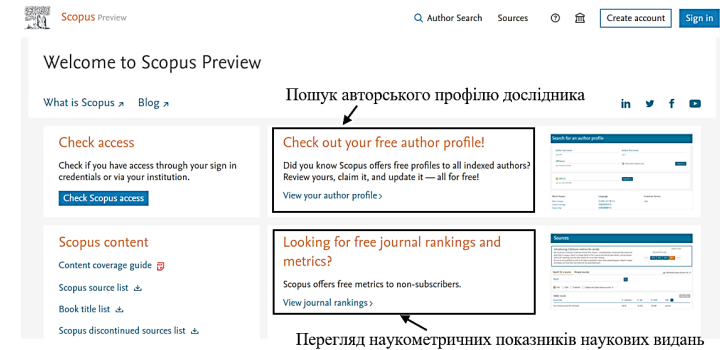


Рисунок 1.10 – Пошук у наукометричній базі Scopus

Оформлено з використанням джерела: <https://www.scopus.com/home.uri>

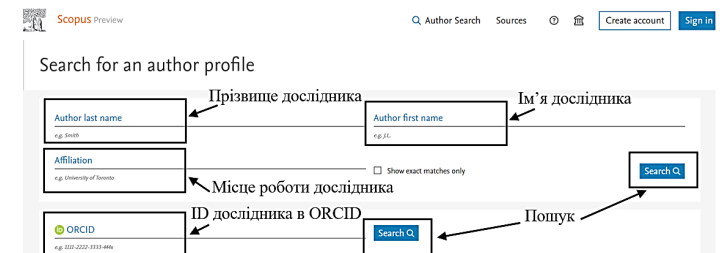


Рисунок 1.11 – Пошук профілю дослідника в Scopus

Оформлено з використанням джерела: <https://www.scopus.com/freelookup/form/author.uri>



Рисунок 1.12 – Пошук наукового видання в Scopus  
Оформлено з використанням джерела: <https://www.scopus.com/sources>

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 1.39.** У наукометричній базі Google Академія знайти профіль дослідника Flavio Raponi, визначити його місце роботи (навчання), загальну кількість цитувань,  $h$ -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 Академія.

**Завдання 1.40.** 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 1.41.** У реєстрі дослідників ORCID за ідентифікатором дослідника 0000-0002-5088-7442 визначити: ім’я та прізвище дослідника, місце його роботи та освіти, ID дослідника в Scopus та Web of Science.

**Завдання 1.42.** У наукометричній базі Scopus знайти профіль дослідника Wulf Becker (Uppsala University, Sweden) та визначити:

ID дослідника в Scopus, кількість співавторів,  $h$ -індекс та загальну кількість цитувань його наукових праць.

**Завдання 1.43.** У наукометричній базі Scopus знайти журнал “Food and Nutrition Research” Open Access та визначити: імпаکت-фактор журналу; ранг, проценти та квартиль журналу за трьома галузями науки (Public Health, Environmental and Occupational Health; Food Science; Nutrition and Dietetics); видавця журналу.

**Завдання 1.44.** Дослідник має вісім публікацій, кількість цитувань яких подана в *таблиці 1.14*. Обчислити  $h$ -індекс дослідника.

Таблиця 1.14 – Кількість цитувань публікацій

Показник	Номер публікації							
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Кількість цитувань	8	0	0	5	15	3	10	1

**Завдання 1.45.** Дослідник має чотири публікації, кількість цитувань яких подана в *таблиці 1.15*. Обчислити  $h$ -індекс дослідника.

Таблиця 1.15 – Кількість цитувань публікацій

Показник	Номер публікації			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Кількість цитувань	6	12	21	15

**Завдання 1.46.** У 2020 році у журналі було опубліковано 70 статей, а в 2021 році – 50 статей. У 2022 році загальна кількість цитувань статей, що опубліковані протягом 2020–2021 років у журналі, становила 576. Обчислити імпакт-фактор журналу за 2022 рік.

**Завдання 1.47.** Журнал з імпакт-фактором  $IF=6,1$  належить до трьох галузей науки. У першій галузі науки журнал має ранг 56, у другій – 38, у третій – 71. Визначити, до якого квартилю належить журнал в кожній галузі науки, якщо загальна кількість журналів у рейтингу першої галузі науки 412, другої – 576, третьої – 615.

**Завдання 1.48.** Обчислити проценти та квартиль журналу, якщо він має ранг 245 у рейтингу журналів певної галузі науки. Загальна кількість журналів цієї галузі науки в рейтингу 704.

## РОЗДІЛ 2

# ОФОРМЛЕННЯ, ПІДГОТОВЛЕННЯ ДО ПУБЛІКАЦІЇ ТА ПРЕЗЕНТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ



### 2.1 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Способи оформлення кількісних дослідних даних [57]:**

- дані перелічуються в тексті;
- дані подаються у вигляді таблиці;
- дані подаються у вигляді графічних зображень (графіки, картограми, діаграми тощо).

Кількісні дослідні дані перелічуються в тексті, якщо їх не більше п'яти значень, що не ускладнює проведення їх аналізу.

#### Приклад 2.1

«Достатньо висока активність оксидоредуктаз у свіжому корінні селери: пероксидаза – 3,596 од/г, поліфенолоксидаза – 2,231 од/г, аскорбатоксидаза – 0,504 од/г, не дозволяє отримати продукт з добрими органолептичними якостями та біологічною цінністю» [58].

Для зручності аналізу та використання кількісних дослідних даних їх заносять згрупованими у певному порядку до таблиці, що дозволяє їх подавати в наочному та систематизованому вигляді (*таблиця 2.1*). Текстову інформацію, наприклад характеристику органолептичних показників харчового продукту (*таблиця 2.2*), також можна подавати у вигляді таблиці.

Таблицю необхідно розташовувати безпосередньо після посилання на неї в тексті або подавати у додатках. Кожна таблиця повинна мати порядковий номер та назву, а також містити елементи (*таблиця 2.3*): заголовки вертикальних граф (головка), заголовки горизонтальних рядків (боковик), вертикальні графи (основна частина). У головці та боковика таблиці заголовки пишуть з великої літери та вони мають бути

якомога коротшими. Графи таблиці нумерують, що полегшує посилання на них в тексті. Якщо кількісні або текстові дані в рядку таблиці не подають, тоді ставиться прочерк.

*Таблиця 2.1 – Рецептури овочевого желе, мас. %*

Назва компоненту	Назва желе		
	Пікантне	Оригінальне	Особливе
Сік коренеплоду селери	49,00	45,00	55,00
Сік моркви	–	20,00	–
Сік буряка	16,00	–	–
Сік лимона	–	–	5,00
Агар-агар	0,25	0,25	0,27
Цукор	34,71	34,72	39,72
Лимонна кислота	0,03	0,03	0,02
Ванілін	0,01	–	–

*Джерело інформації: [58]*

*Таблиця 2.2 – Органолептичні показники желе*

Критерій оцінювання	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Зовнішній вигляд	желеподібна непрозора маса	желеподібна непрозора маса	желеподібна непрозора маса
Колір	яскраво рожевий	яскраво помаранчевий	жовтий медовий колір із легким світло-коричневим відтінком
Консистенція	міцна жельована без відшаровування рідини	міцна жельована без відшаровування рідини	міцна жельована без відшаровування рідини
Смак і запах	ніжний ванільний аромат; смак яскраво виражений, солодкий	морквяний аромат; смак яскраво виражений, солодкий, морквяний	аромат лимону; смак яскраво виражений, лимонний з приємним присмаком коріння селери

*Джерело інформації: [58]*

Таблиця 2.3 – Назва таблиці (порядковий номер, назва)

Показник (голівка)	Значення, % (голівка)
1 (нумерація граф)	2 (нумерація граф)
Показник 1 (боковик)	Значення (основна частина)
Показник 2 (боковик)	Значення (основна частина)
Показник 3 (боковик)	Значення (основна частина)

Таблиці за структурою поділяються на види [57]:

- проста таблиця, що містить перелік даних, які зібрані щодо окремих показників або властивостей об'єкта (**таблиця 2.4**), що досліджується, чи щодо окремих явищ розглянутої сукупності;

Таблиця 2.4 – Фізико-хімічні показники салатних соусів

Назва показника	Значення
Масова частка жиру, %	від 5 до 50
Кислотність у перерахунку на оцтову або лимонну кислоту, %, не більше ніж	0,9
Масова частка солі, %	від 0 до 2,0
Водневий показник рН	від 3,0 до 4,7

Джерело інформації: [59]

- групова таблиця, яка містить інформацію щодо сукупності, яка розчленована на окремі групи за однією ознакою (**таблиця 2.5**); кожна група може бути охарактеризована низкою показників;

Таблиця 2.5 – Розподіл зерна пшениці у пробі за довжиною та вологістю

Довжина зерна, мм	Вміст зерна, %	Вологість зерна, %
До 4,8	15	14,0
Від 4,8 до 6,0	35	14,1
Від 6,0 до 7,2	40	14,1
Понад 7,2	10	14,2

- комбінована таблиця, що містить інформацію щодо сукупності, яка розчленована на окремі групи за декількома ознаками (**таблиця 2.6**);
- складена таблиця, яку утворюють шляхом об'єднання кількох простих або групових таблиць (**таблиця 2.7**);

- шахова таблиця, за допомогою якої зручно показати зв'язки між ознаками (**таблиця 2.8**), що досліджуються;

- перехресна таблиця, яка дозволяє структурувати, підсумовувати і відображати великі обсяги даних (**таблиця 2.9**), зокрема у перехресній таблиці можна відображати проміжні підсумки для граф і загальний підсумок для граф та рядків;

Таблиця 2.6 – Розподіл зерна різних культур за вологістю на складах підприємства

Склад	Маса зерна з різною вологістю на складі, т								Разом зерна на складі, т
	пшениця				жито				
	вологість, %				вологість, %				
	до 12	від 12 до 14	понад 14	всього, т	до 12	від 12 до 14	понад 14	всього, т	
Склад № 1	52	101	10	163	18	22	10	50	213
Склад № 2	15	45	10	70	25	75	50	150	220

Таблиця 2.7 – Розподіл зерна різних культур за вологістю на складах підприємства

Маса зерна на складі	Зерно		Вологість зерна, %		
	пшениця	жито	до 12	від 12 до 14	понад 14
Маса зерна на складі № 1, т	163	50	70	123	20
Маса зерна на складі № 2, т	70	150	40	120	60

Таблиця 2.8 – Розподіл зерна різних культур за вологістю на складах підприємства

Зерно	Вологість зерна, %			Разом
	до 12	від 12 до 14	понад 14	
Пшениця	67	146	20	233
Жито	43	97	200	340
Разом	110	243	220	573

- **таблиця-висновок**, що містить боковик, крапки та одну чи дві графи (стовпчики); таблицю-висновок подають без заголовка, якщо він є безпосереднім продовженням тексту, або із заголовком, якщо висновок має самостійне значення.

Таблиця 2.9 – Показники кількості перероблених фруктів та овочів за три місяці функціонування підприємства

Категорія	Вид	Липень	Серпень	Вересень	Всього
Фрукти	сливи	20	50	–	70
	абрикоси	35	15	–	50
	яблука	–	30	120	150
	Разом	55	95	120	270
Овочі	кабачки	40	20	10	70
	огірки	60	30	–	90
	помідори	10	100	40	150
	Разом	110	150	50	310
Всього		165	245	170	580

### Приклад 2.2 (таблиця-висновок)

За результатами проведеного дослідження визначено вміст жиру в йогуртах різних виробників з фруктовими наповнювачами (у відсотках):

полуничний .....	1,5
яблучний .....	1,6
чорничний .....	2,0

Для представлення даних досліджень використовують **графіки** у вигляді геометричних фігур, ліній, географічних карт-схем тощо. Графік повинен мати заголовок та розшифрування умовних позначень, які використовуються для його побудови. Основними елементами графіка є шкала, масштаб, осі координат та числа (координатна) сітка.

**Графіки за способом побудови поділяють на види [60; 61]:**

- картограма, що буває точковою, фоновною та ізолінійною; вона містить схематичну географічну карту світу, регіону, країни, області тощо, на якій точками, забарвленням або замкненими лініями демонструється порівняльна інтенсивність показника (*рис. 2.1*);

- картодіаграма, на якій діаграмні фігури (стовпчики, квадрати, кола тощо) розташовуються на контурі географічної карти (світу, країни, області, регіону тощо) (*рис. 2.2*);

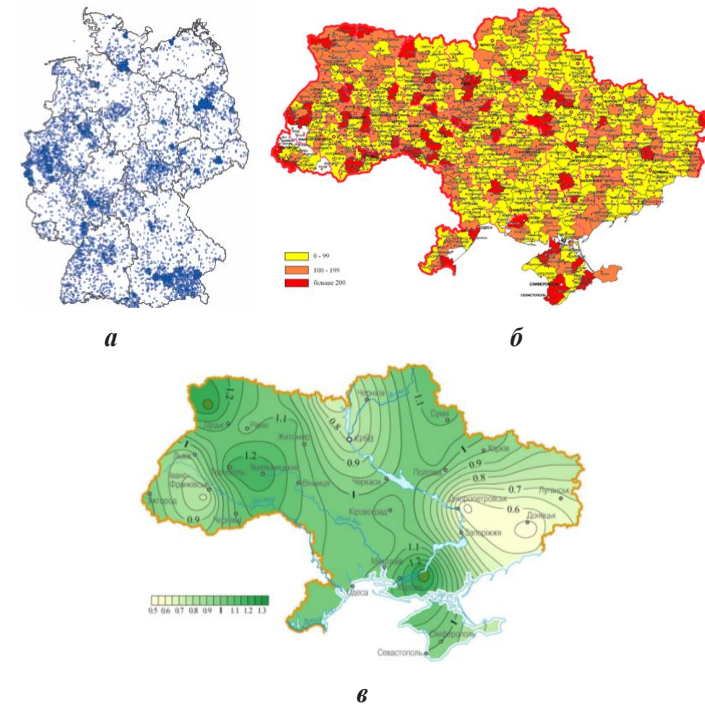


Рисунок 2.1 – Картограми:  
*a* – точкова [62]; *б* – фоновна [63]; *в* – ізолінійна [64]  
 Джерела інформації: [62–64]

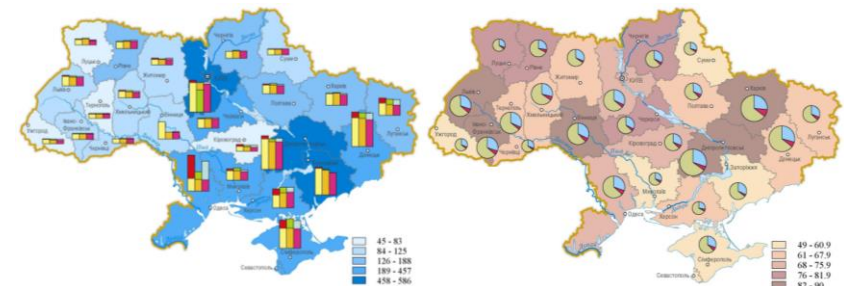


Рисунок 2.2 – Картодіаграми  
 Джерело інформації: [64]

- **діаграма**, що у вигляді певних графічних позначень (точок, ліній, фігур різної форми та кольорів) показує співвідношення між різними величинами, які порівнюються; порівняння геометричних об'єктів на діаграмах відбувається за площею чи висотою, за місцезнаходженням точок або щільністю їх розташування, за інтенсивністю кольору тощо; розрізняють лінійні, площинні, об'ємні та символічні діаграми;

- **тривимірні графіки**, що забезпечують візуалізацію даних у тривимірному просторі.

**Лінійна діаграма** (лінійний графік) демонструє інформацію як серію точок даних («маркерів»), що з'єднані відрізками (рис. 2.3). На ній можна зобразити кілька показників, що дозволяє їх порівнювати.

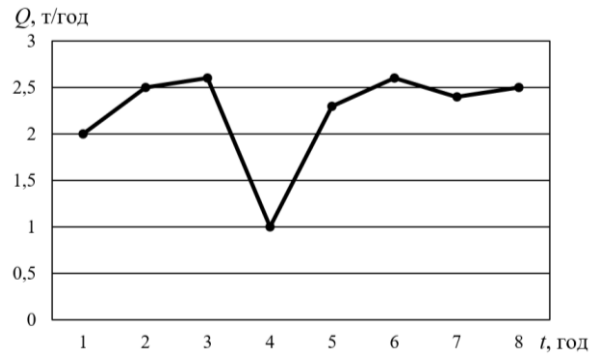
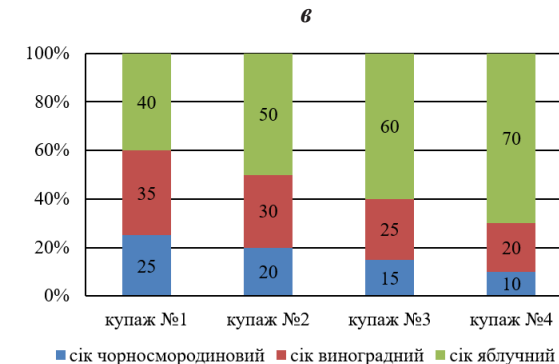
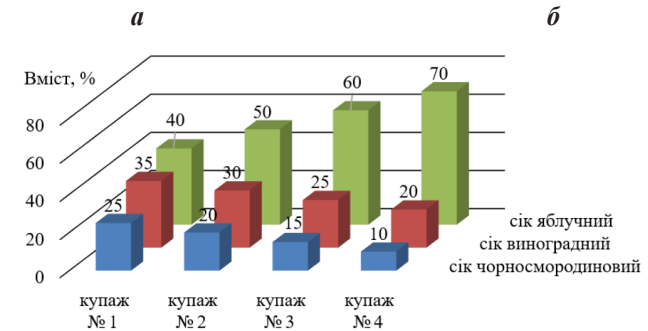
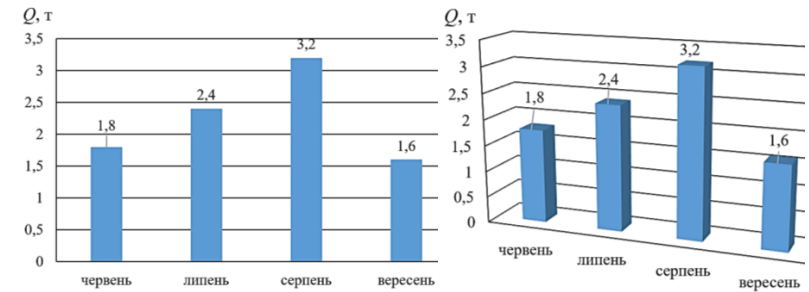


Рисунок 2.3 – Лінійна діаграма

**Площинна діаграма** відображає інформацію у вигляді плоских фігур, а **об'ємна діаграма** – у вигляді об'ємних фігур. Різновидами площинних діаграм є: стовпчикова, стрічкова, секторна, квадратна, колова, прямокутна, радіальна (пелюсткова), точкова, бульбашкова, а також діаграма Ганта та Венна.

На **стовпчиковій діаграмі** дані зображуються у вигляді плоских (прямокутники, трикутники) (рис. 2.4, а) чи об'ємних (конуси, паралелепіпеди, циліндри, піраміди) (рис. 2.4, б) фігур. Значення даних характеризує висота геометричних фігур. Стовпчикові діаграми також використовуються для зіставлення даних у згрупованому (згрупована діаграма) та накопичувальному вигляді (накопичувальна діаграма). **Згрупована діаграма** містить два чи більше стовпці із кольоровим маркуванням для категоріальних груп (рис. 2.4, в). **Накопичувальна**

**діаграма** містить стовпці, де групи розташовані одна над одною, а висота отриманого стовпця дорівнює сукупному результату групи (використовується для додатних значень).



г

Рисунок 2.4 – Стовпчикові діаграми: а – плоска; б – об'ємна; в – згрупована; г – накопичувальна

На стрічковій діаграмі дані зображуються у вигляді горизонтальних плоских (прямокутники) і об'ємних (паралелепіеди) геометричних фігур. Значення даних характеризує довжина прямокутників (рис. 2.5).

Секторну діаграму, як правило, використовують для зображення даних у процентах або частках. Вона має вигляд плоскої (коло) або об'ємної (диск) фігури або кільця, що поділені на сектори, величина яких рівна значенню даних (рис. 2.6).

На квадратній діаграмі значення даних характеризуються площею квадратів (рис. 2.7, а). Для визначення сторін квадратів необхідно добути квадратні корені із значень даних та накреслити квадрати в певному масштабі.

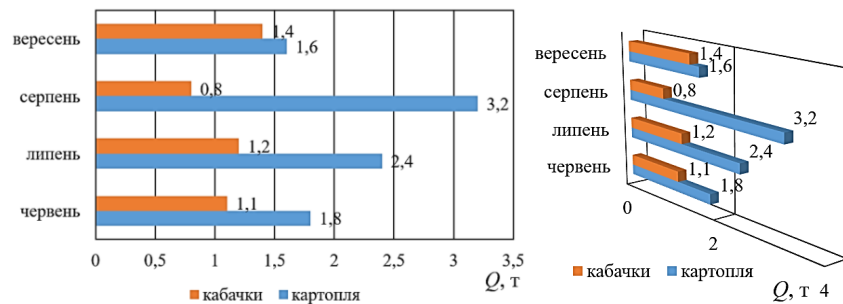


Рисунок 2.5 – Стрічкові діаграми: а – плоска; б – об'ємна

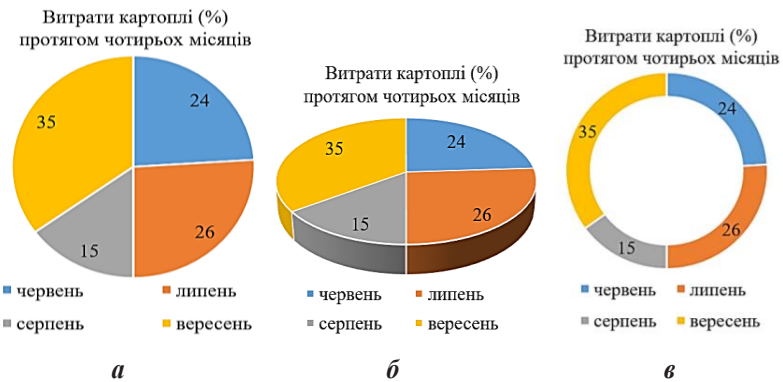


Рисунок 2.6 – Секторні діаграми: а – плоска; б – об'ємна; в – кільцева

На **коловій діаграмі** значення даних пропорційні площі кіл. Для визначення радіусів (діаметрів) кіл необхідно добути квадратні корені із значень даних та накреслити кола в певному масштабі (рис. 2.7, б).

### Приклад 2.3

Нехай необхідно представити витрати овочів на виробництво консервованої продукції протягом місяця у вигляді квадратної та колової діаграм. Відомо, що на виробництво консервованої продукції витрачається: томатів – 16714 кг; кабачків – 14560 кг; огірків – 4662 кг.

Добудемо квадратні корені із даних:

$$(16\ 714)^{0,5} = 129,3; (14\ 560)^{0,5} = 120,7; (4\ 662)^{0,5} = 68,3.$$

Нехай масштаб діаграми 1 см = 30 кг, тоді сторони квадратів та діаметри кіл становитимуть:

$$129,3/30 = 4,3 \text{ см}; 120,7/30 = 4 \text{ см}; 68,3/30 = 2,3 \text{ см}.$$

Будуємо квадратну та колову діаграми за розрахованими значеннями сторони квадрата та радіуса кола (рис. 2.7).

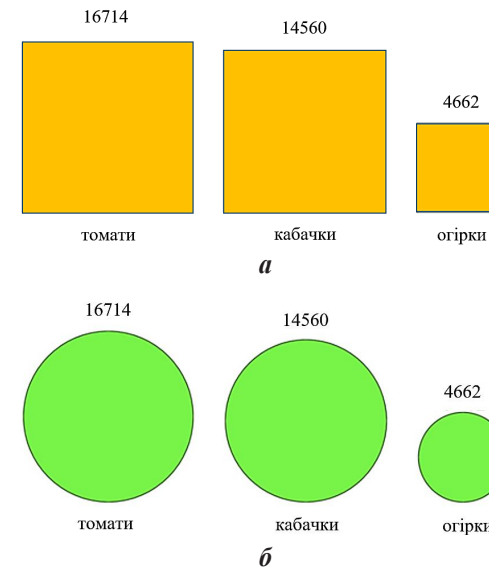


Рисунок 2.7 – Площинні діаграми: а – квадратна; б – колова

Для порівняння трьох пов'язаних між собою величин використовується прямокутна діаграма, зокрема «**Знак Варзара**». На цій діаграмі довжина прямокутника відображує значення однієї величини, ширина – другої, а площа прямокутника характеризує добуток цих величин у масштабі. Причому масштаби осей прямокутної діаграми можуть бути різними.

#### Приклад 2.4

Продуктивність лінії виробництва соусів  $Q = 950$  кг/год. За допомогою прямокутної діаграми проілюструвати випуск продукції за добу ( $t = 24$  год) безперервної роботи технологічної лінії.

Нехай довжина прямокутника – це тривалість роботи лінії, а висота – це продуктивність лінії. Тоді площа прямокутника діаграми буде ілюструвати випуск продукції (рис. 2.8):

$$S = Qt = 950 \cdot 24 = 22\,800 \text{ кг.}$$

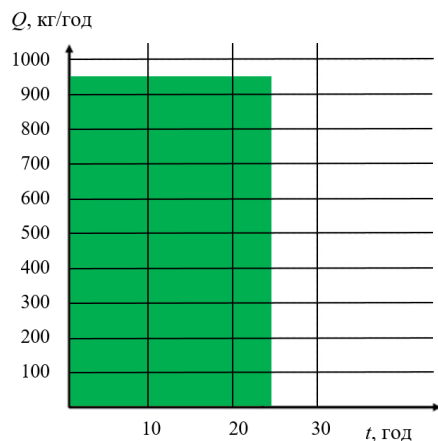


Рисунок 2.8 – Діаграма «Знак Варзара»

Для зображення плану чи графіка виконання робіт, наприклад етапів магістерської кваліфікаційної роботи, використовується **діаграма Ганта** (рис. 2.9).

Для ілюстрації можливих логічних відношень між поняттями, категоріями, ідеями чи групами використовується **діаграма Венна**,

що містить кола, які перетинаються (рис. 2.10). Частини кіл, що перетинаються, представляють подібності (спільне) між поняттями, категоріями, ідеями чи групами, а частини кіл, які не перетинаються, – відмінності між поняттями, категоріями, ідеями чи групами.

Етап виконання роботи	Вересень			Жовтень			Листопад			Грудень		
	1–10	11–20	21–30	1–10	11–20	21–31	1–10	11–20	21–30	1–10	11–20	21–31
Розділ 1	■	■	■									
Розділ 2			■	■	■	■						
Розділ 3					■	■	■	■	■			
Розділ 4							■	■	■			
Розділ 5									■			
Графічна частина										■	■	■

Рисунок 2.9 – Діаграма Ганта



Рисунок 2.10 – Діаграма Венна

Для графічного зображення явищ, що змінюються в замкнуті календарні терміни, використовується **радіальна діаграма**, в основі якої полярна система координат.

### Приклад 2.5

Щомісячний випуск продукції підприємством протягом року (замкнений цикл): січень – 22 т; лютий – 17 т; березень – 25 т; квітень – 25 т; травень – 28 т; червень – 34 т; липень – 40 т; серпень – 42 т; вересень – 33 т; жовтень – 20 т; листопад – 16 т; грудень – 8 т. Побудувати радіальну діаграму щомісячного випуску продукції на підприємстві (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Радіальна діаграма щомісячного випуску продукції (т)

Різновидом радіальної діаграми є **пелюсткова діаграма**, на якій змінні представлені на осях, що мають спільний початок (рис. 2.12). Кут нахилу осей не зазначається. Ця діаграма дозволяє ілюструвати багатовимірні дані з трьома чи більшою кількістю змінних. Пелюсткову діаграму також використовують як **сенсорну профілограму** для порівняння результатів експертного оцінювання органолептичних показників зразків (модельних композицій) харчових продуктів (рис. 2.13).

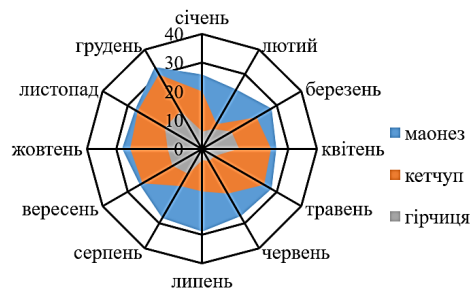


Рисунок 2.12 – Пелюсткова діаграма щомісячного випуску майонезу, кетчупу та гірчиці на підприємстві (т)



Рисунок 2.13 – Сенсорна профілограма модельних композицій харчового продукту

На **точковій діаграмі** дані демонструються у вигляді набору точок, розташування яких у декартовій системі координат визначається двома змінними (рис. 2.14).

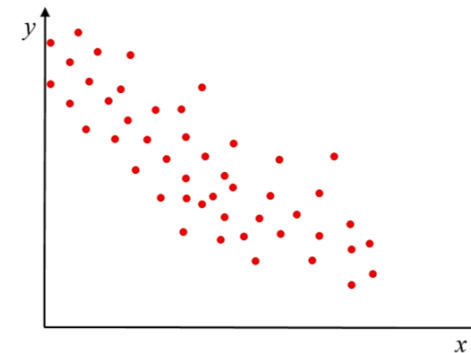


Рисунок 2.14 – Точкова діаграма

Різновидом точкової діаграми є **бульбашкова діаграма**, на якій точки даних замінені бульбашками, причому їх розмір є додатковим виміром даних (рис. 2.15). На бульбашковій діаграмі немає осі категорій, оскільки горизонтальна та вертикальна осі є осями значень. На додаток до значень  $x$  та  $y$  на бульбашковій діаграмі вказуються значення  $z$  (зміна розміру бульбашки).

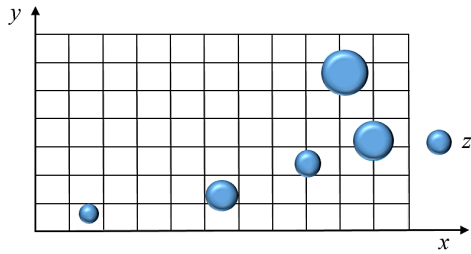


Рисунок 2.15 – Бульбашкова діаграма

На **символьній діаграмі** дані візуалізуються за допомогою знаків, фігурок людей, тварин, зображень різних видів сировини та готової продукції (рис. 2.16).

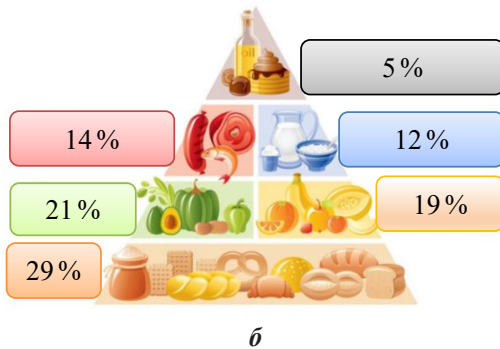
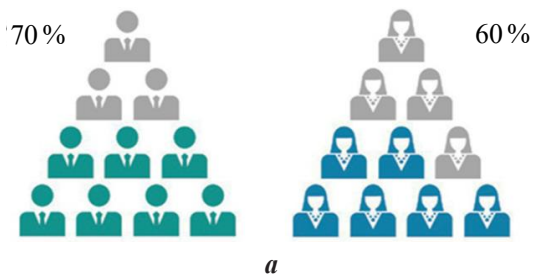


Рисунок 2.16 – Символьні діаграми із зображенням:  
а – фігурок людей; б – харчових продуктів

Для демонстрації даних також використовують **тривимірні графіки**. Кожна точка на цих графіках характеризується двома незалежними змінними  $x$  і  $y$  та однією залежною змінною  $z$ . Тривимірні графіки бувають поверхневі, каркасні, точкові (рис. 2.17).

Для візуалізації функції двох змінних виду  $z(x,y)$  за допомогою ліній рівня використовують **контурні графіки**. Їх отримують внаслідок перетину тривимірної поверхні паралельними площинами до площини  $xy$  та проєктування ліній перетину поверхні на площину  $xy$  (рис. 2.18).

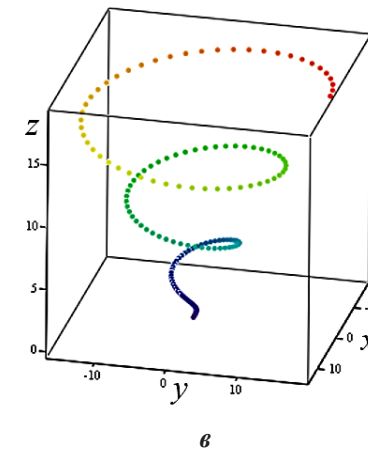
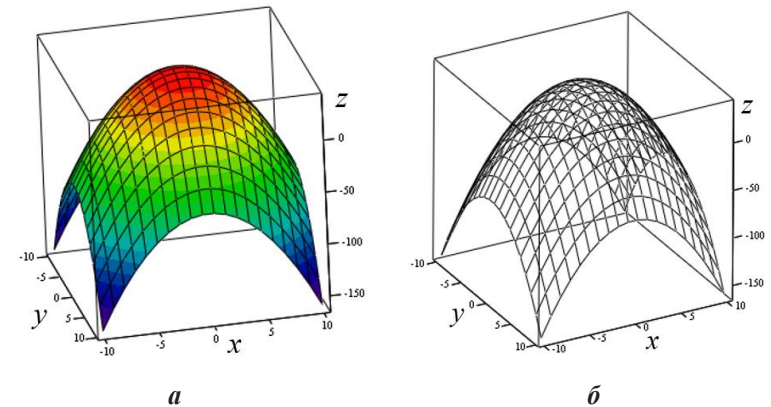


Рисунок 2.17 – Тривимірні графіки:  
а – поверхневий; б – каркасний; в – точковий

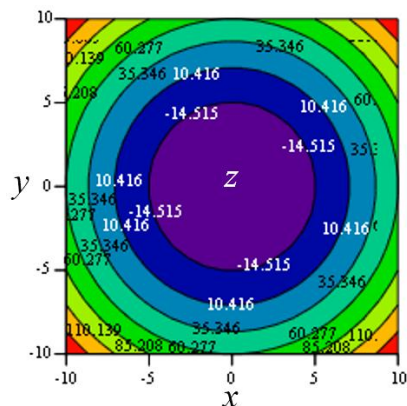


Рисунок 2.18 – Контурний графік

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 2.1.** Скласти просту таблицю для фізико-хімічних показників цукру-піску: масова частка цукрози – 99,8%; масова частка золи – 0,03%; масова частка вологи – 0,12%.

**Завдання 2.2.** Скласти групову таблицю для майонезів, які поділяються на групи: столові, бутербродні, десертні. Залежно від масової частки загального жиру кожна із цих груп майонезів містить три види: висококалорійні (понад 55% жиру), середньокалорійні (40–55% жиру) та низькокалорійні (30–40% жиру).

**Завдання 2.3.** Скласти комбіновану таблицю для розподілу борошна пшеничного вищого та першого сортів за вологістю, що зберігається на складах двох хлібозаводів. На хлібозаводі № 1 зберігається борошна вищого сорту: 8 т з вологістю 11,0–13,0%; 16 т з вологістю 13,1–14,0%; 11 т з вологістю 14,1–15,0%. На хлібозаводі № 2 зберігається борошна вищого сорту: 14 т з вологістю 11,0–13,0%; 7 т з вологістю 13,1–14,0%; 16 т з вологістю 14,1–15,0%. На хлібозаводі № 1 зберігається борошна першого сорту: 12 т з вологістю 11,0–13,0%; 5 т з вологістю 13,1–14,0%; 17 т з вологістю 14,1–15,0%. На хлібозаводі № 2 зберігається борошна першого сорту: 5 т з вологістю 11,0–13,0%;

8 т з вологістю 13,1–14,0%; 4 т з вологістю 14,1–15,0%. У таблиці вказати, яка кількість борошна кожного сорту та разом борошна обох сортів зберігається на хлібозаводах.

**Завдання 2.4.** Скласти складену таблицю за даними дослідження відвідування університетської та заводської їдалень особами різної статі та вікових груп протягом дня. Університетську їдальню відвідало: 114 чоловіків; 128 жінок. Заводську їдальню відвідало: 152 чоловіки; 84 жінки. Розподіл відвідувачів їдалень за віковими групами подано в **таблиці 2.10**.

Таблиця 2.10 – Розподіл відвідувачів їдалень за віковими групами

Їдальня	Вікова група відвідувачів, років		
	18–30	31–49	старші за 50
Університетська	163	45	34
Заводська	83	108	45

**Завдання 2.5.** Скласти шахову таблицю розподілу відвідувачів їдальні за статтю та віковими групами, використовуючи дані щодо відвідування різними віковими групами університетської їдальні з **таблиці 2.10**. Урахувати, що відвідувачів їдальні жіночої статі: віком 18–30 років – 84 особи; віком 31–49 років – 14 осіб; віком старші за 50 років – 8 осіб.

**Завдання 2.6.** Скласти перехресну таблицю за даними продажів піци та ролів протягом вихідних днів (субота, неділя) у закладі ресторанного господарства із вказуванням загальної кількості проданих страв кожної групи (піца, роли) кожного дня та за два дні. У суботу було продано: піца «Маргарита» – 27 шт.; піца «Пеperоні» – 18 шт.; піца «Кальцоне» – 21 шт.; піца «Чотири сири» – 38 шт.; роли «Каліфорнія» – 41 порція; роли «Філадельфія» – 53 порції. У неділю продано: піца «Маргарита» – 31 шт.; піца «Пеperоні» – 14 шт.; піца «Кальцоне» – 27 шт.; піца «Чотири сири» – 44 шт.; роли «Каліфорнія» – 46 порцій; роли «Філадельфія» – 49 порцій.

**Завдання 2.7.** Побудувати згруповану стовпчикову діаграму за даними, що подані в **таблиці 2.11**.

Таблиця 2.11 – Вміст поживних речовин у напоях

Напій	Вміст поживних речовин, г/100 г напою		
	вуглеводи	білки	жири
«Соеве молоко»	4,7	3,8	4,0
«Мигдалеве молоко»	4,5	2,0	3,3
«Вівсяне молоко»	4,0	1,0	1,5
«Рисове молоко»	10,2	1,0	1,1

Джерело інформації: [19–22]

**Завдання 2.8.** Побудувати об'ємну стрічкову діаграму за даними, що подані в *таблиці 2.10*.

**Завдання 2.9.** Побудувати накопичувальну стовпчикову діаграму за даними *таблиці 2.12*. На діаграмі проілюструвати реалізацію (накопичення) страв за групами: закуски, перші страви, другі страви.

Таблиця 2.12 – Реалізація страв у закладі ресторанного господарства протягом дня

Група страв	Найменування страви	Кількість реалізованих страв протягом дня
Закуски	Асорті зі свіжих овочів	28
	Фермерські соління	31
	М'ясне асорті	42
	Сирне асорті	36
Перші страви	Грибна юшка	54
	Курачий суп з локшиною	46
	Український борщ	61
Другі страви	Курка запечена з картоплею	49
	Перець фарширований	57
	Макаронна запіканка	60
	Горщик з м'ясом та овочами	28

**Завдання 2.10.** Побудувати плоску секторну діаграму для вмісту інгредієнтів у рецептурі страви «Салат із солоних огірків і квашеної капусти» (у мас. %): огірki солоні – 37,8; капуста квашена – 37,8; цибуля ріпчаста – 7,5; цукор – 7,5; олія соняшникова – 9,4.

**Завдання 2.11.** Побудувати об'ємну секторну діаграму для ілюстрації структури ринку за асортиментом хлібобулочної продукції (у % від загального обсягу ринку) [65]: хліб пшеничний – 38,6; хліб житньо-пшеничний і пшенично-житній – 30,3; вироби булочні – 21,0; вироби здобні – 4,9; вироби сухі або тривалого зберігання – 2,5; пироги, пиріжки, пончики – 1,8; інші види хлібної продукції – 0,9.

**Завдання 2.12.** У вигляді квадратної та колової діаграм проілюструвати дані щодо науково-обґрунтованих добових норм споживання молочних продуктів [66]: масло – 15 г; кисломолочний сир – 20 г; сметана – 18 г.

**Завдання 2.13.** У вигляді прямокутної діаграми проілюструвати енергетичну цінність 50 г олії соняшникової, якщо калорійність 1 г олії становить 8,84 ккал.

**Завдання 2.14.** Побудувати діаграму Ганта для тижневого розкладу занять здобувачів вищої освіти: понеділок – I, II та III пари; вівторок – I, III та IV пари; середа – IV, V пари; четвер – III, IV та V пари; п'ятниця – I та III пари.

**Завдання 2.15.** Встановити логічний зв'язок між сировиною (м'ясо, овочі, тісто) та готовими стравами (пельмені, рагу, пиріжки, піца), обравши розташування сировини та страв на діаграмі Венна (*рис. 2.19*), позначивши їх А, Б, В, АВ, АВ, БВ та АВВ.

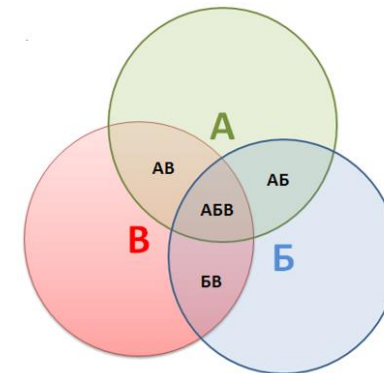


Рисунок 2.19 – Шаблон діаграми Венна

**Завдання 2.16.** За даними *таблиці 2.11* побудувати пелюсткову діаграму, відклавши на осях вміст білків, жирів та вуглеводів.

**Завдання 2.17.** Побудувати сенсорну профілограму для вершкового масла з морськими водоростями за даними *таблиці 2.13*.

Таблиця 2.13 – Сенсорна оцінка вершкового масла з водоростями

Характеристика аромату та смаку	Інтенсивність характеристик вершкового масла з морськими водоростями, бал		
	еталон	із ламінарією	із спіруліною
Гармонійний	5,0	5,0	5,0
Вершковий	2,0	2,0	2,0
Свіжий	4,0	4,0	4,5
Типовий	1,0	1,0	1,0
Солодкий	3,0	1,0	1,0
Солонуватий	3,0	3,0	3,5

Джерело інформації: [67]

**Завдання 2.18.** Побудувати точкову діаграму із використанням даних, які отримані в результаті вимірювання довжини та ширини зерна пшениці *таблиці 2.14*.

Таблиця 2.14 – Довжина та ширина зерна пшениці

Параметр	Значення параметра, мм									
	Довжина	6,6	6,5	6,6	6,1	6,5	6,4	6,3	6,5	6,0
Ширина	3,6	3,4	3,5	3,1	3,5	3,2	3,1	3,3	3,0	3,3
Довжина	6,4	6,0	6,2	6,3	6,3	6,4	6,5	6,1	6,2	6,6
Ширина	3,5	3,2	3,3	3,4	3,2	3,6	3,2	3,2	3,4	3,7

**Завдання 2.19.** Побудувати бульбашкову діаграму із використанням даних щодо діяльності кондитерських компаній А, Б, В, Г та Д, які представлені в *таблиці 2.15*.

Таблиця 2.15 – Дані щодо діяльності кондитерських компаній

Компанія	Чистий прибуток $x$ , млн грн	Кількість працівників $y$ , осіб	Кількість підприємств $z$ , шт.
1	2	3	4
А	800	10 000	8
Б	620	7200	5
В	480	8100	6
Г	400	6500	5
Д	280	2400	3

**Завдання 2.20.** Побудувати символну діаграму енергетичної цінності 100 г продуктів із їх зображенням: зефір – 300 ккал; мармелад – 245 ккал; халва – 468 ккал; чорний шоколад – 537 ккал.

**Завдання 2.21.** Побудувати поверхневий тривимірний та контурний графіки функції  $z(x, y) = x^2 + y^2 - 40$ .

**Завдання 2.22.** Побудувати поверхневі тривимірні графіки для рівняння регресії в інтервалі  $x \in [0, 1]$ ,  $y \in [0, 1]$  та  $z \in [0, 1]$  [14]:

$$C = 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz,$$

де  $C$  – маса вітаміну  $C$  у начинці глазуrowаного сирка, мг;

$x, y, z$  – вміст лимонно-імбирного, брусничного та обліпихового джемів у начинці, мас. %.

## 2.2 Підготовка до публікації результатів досліджень

Наукове дослідження обов'язково має завершуватися апробацією його результатів. **Апробацією** вважається опублікування результатів наукового дослідження у рецензованих наукових виданнях, а також їх представлення та обговорення фахівцями певної галузі на наукових конференціях, симпозіумах, круглих столах, наукових семінарах та інших наукових заходах [68].

Результати наукових досліджень можуть бути представлені у формі монографії, наукової статті, доповіді, тез та матеріалів конференції, підручника, навчального посібника, дисертації, наукового звіту, реферату, заявки на винахід, кваліфікаційної роботи магістра тощо [60].

Найбільш поширені форми (текстові) представлення результатів наукових досліджень, які проводять здобувачі вищої освіти, – наукова стаття, тези чи матеріали конференції, реферат (автореферат).

Наукові статті публікуються у вітчизняних та закордонних фахових рецензованих періодичних виданнях (наприклад, журнали, збірники наукових праць), їх поділяють на два основні типи:

- **дослідницька стаття** – містить аналіз стану проблеми, оригінальні результати власних теоретичних та експериментальних досліджень автора (авторів) статті, методи їх проведення та обговорення

в контексті відомих досліджень проблеми, вирішенню якої присвячене дослідження;

- **оглядова стаття** – містить узагальнення в стислій формі накопичених результатів досліджень з вирішення певної проблеми або тенденції розвитку окремих наукових напрямів.

Найбільш поширена структура наукової статті втілена в принципі IMRAD (Introduction, Methods, Results, and Discussion – міжнародний формат наукових статей) [69]. **Структурні елементи дослідницької статті** [68–70]:

- назва статті (Title) має бути короткою (як правило, журнали обмежують назву 12 словами), інформативною та легкою для розуміння; у назві не допускаються скорочення, формули та жаргон;

- прізвище та ініціали авторів (автора) статті (Authors), їх місце роботи, посада, ідентифікатор науковця та контактні дані; авторами статті є особи, які зробили важливий внесок у планування та проведення дослідження; порядок авторів формується залежно від важливості їх внеску в роботу; технічні працівники та інші помічники в оформленні статті можуть згадуватися в розділі Acknowledgments;

- анотація статті (Abstract) – це мініверсія статті, що в стислій формі інформує про основні результати досліджень; вона починається з викладу актуальності та мети, далі зазначаються використані методи досліджень, основні результати, висновки та їхнє значення; твердження, що стосуються актуальності, інтерпретації результатів і висновків подаються в теперішньому часі, а матеріали, методи досліджень та результати – у минулому часі; анотація не має містити: абрєвіатури або акроніми, якщо вони не є стандартними або поясненими, посилання на таблиці або рисунки в статті, цитати, будь-яку інформацію чи висновок, яких немає в статті;

- ключові слова (Keywords) мають точно характеризувати зміст статті; слова, які містяться в назві статті, не повинні повторюватися як ключові; необхідно уникати використання загальних термінів як ключових слів (наприклад, модель, рівняння, харчові продукти тощо);

- розділ «Стан питання та постановка проблеми» (Introduction) має містити аналіз сучасного стану питання, виклад проблеми та позиції щодо її вирішення;

- мета дослідження (The aim of the study) – зазначається результат, на досягнення якого спрямоване дослідження;

- розділ «Матеріали та методи» (Materials and Methods) має містити опис у минулому часі: місця дослідження; матеріалів (дослідних

зразків) і способу їх отримання; методів дослідження із указуванням повторюваності дослідів; зроблені припущення та їх обґрунтування; статистичні та математичні процедури, що використовувалися для аналізу та узагальнення даних;

- розділ «Результати дослідження та обговорення» (Results and Discussion) має містити виклад результатів власних досліджень та їх пояснення і порівняння із вже відомими дослідженнями; дані рекомендується подавати у формі таблиць та графіків із обов'язковим посиланням на них у тексті; всі розмірності необхідно подавати в міжнародній системі одиниць фізичних величин SI; розділ може містити підрозділи;

- висновки за результатами дослідження (Conclusions) мають містити чітко сформульовані результати досліджень та можуть містити рекомендації щодо використання результатів і напрями подальших досліджень;

- подяка (Acknowledgments) може містити подяку установам і особам, які значно допомогли в проведенні та оформленні досліджень, а також у ньому зазначаються джерела фінансування досліджень та проєкти, в рамках яких вони виконувалися;

- список використаних джерел (References) оформлюється згідно з вимогами наукового видання; на всі джерела мають бути посилання в тексті статті;

- додатки (Appendices) можуть містити будь-які додаткові матеріали, які стосуються статті.

**Структура оглядової статті** подібна до структури дослідницької статті, але має певні відмінності [69]:

- назва статті;

- прізвище та ініціали автора (авторів) статті, їх місце роботи, посада, ідентифікатор науковця та контактні дані;

- анотація статті;

- ключові слова;

- розділ «Вступ» (Introduction) має містити обґрунтування вибору теми та її актуальності, короткий опис кожного структурного елемента основної частини;

- мета дослідження – зазначається результат, на досягнення якого спрямоване дослідження;

- основна частина (як правило, містить розділи, підрозділи, абзаци, які логічно пов'язані між собою; в цій частині подають характеристику стану проблеми, її аналіз та оцінювання, а також основні тенденції та напрями досліджень);

- висновки;
- подяка;
- список використаних джерел;
- додатки.

Усі статті, які подаються до наукових видань, проходять процедуру рецензування. Рецензування передбачає об'єктивне оцінювання переваг і недоліків статті, а також її відповідність вимогам наукового видання.

Існує два основних типи рецензування [71]: закрите та відкрите. **Закрите рецензування** також поділяється на два види [71]: одинарне сліпе (single blind) та подвійне сліпе (double blind). **Одинарне сліпе рецензування** передбачає, що автор не знає особу рецензента, а рецензент знає автора (авторів) статті. У випадку **подвійного сліпого рецензування** рецензент та автор (автори) наукової статті не знають один одного.

**Відкрите рецензування** – це система, в якій автори та рецензент відомі один одному протягом усього процесу рецензування [71]. У цьому випадку рецензенти несуть повну відповідальність за об'єктивність рецензії, оскільки їхні прізвища публікуються в журналі після статті.

Ще однією формою рецензування є **рецензування після публікації** (Post-Publication Peer Review – PPPR) [71]. Стаття публікується після первинної редакційної перевірки. Після цього відбувається її рецензування запрошеними рецензентами або рецензенти самостійно зголошуються. За результатами рецензування автори можуть вносити зміни в статтю і вона знову публікується.

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

**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:

- 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 авторефератом. 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. Структура реферату:

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

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 2.23.** Ознайомитися з фрагментом статті. Визначити, до якого структурного елемента дослідницької статті цей фрагмент відноситься та обґрунтувати свою позицію.

Фрагмент статті: «На сьогодні виробники кондитерської галузі все більше акцентують увагу на виготовленні продукції з додаванням різних видів плодово-ягідної сировини, яка характеризується високим вмістом фізіологічно цінних нутрієнтів. Традиційно така сировина застосовується в технологіях мармеладно-пастильних виробів у вигляді паст, пюре і підварок. Технології отримання таких продуктів передбачають використання консервуючих добавок, надмірне надходження яких до організму людини є небажаним. Також під час їх виготовлення застосовують високі температури (уварювання, пастеризацію, стерилізацію), що призводить до зниження вмісту деяких вітамінів, спричиняє руйнування поліфенольних сполук і втрату продуктом первинного смаку й аромату...»

У статті проведено оцінку якості розробленої технології мармеладу желеино-фруктового із заміною 30% рецептурного фруктового пюре багатокомпонентною плодово-ягідною пастою, отриманою з яблук, айви і чорної смородини у співвідношенні 40:50:10...» [72].

**Завдання 2.24.** Ознайомитися з фрагментом анотації статті. Запропонувати назву статті та п'ять ключових слів.

Фрагмент анотації статті: «Стаття присвячена аналізу продуктів з гідролізованими білками, одержаними на основі ферментного

гідролізу різного призначення. Показано важливість і гостроту проблеми забезпечення населення різних категорій повноцінним білковим харчуванням, що легко засвоюється і не викликає алергічних реакцій... Наголошено на актуальності створення вітчизняних технологій продуктів з гідролізованими білками в рідкій та сухій формах.

Визначено, що основним білковим компонентом харчування для спеціальних медичних цілей є гідролізати молочної сироватки. При виробництві спортивного харчування використовуються гідролізовані й негідролізовані білки тваринного і рослинного походження: гідролізовані білки яловичини, колагену, негідролізовані білки сої, казеїн тощо. Сучасні гіпоалергенні адаптовані суміші для дитячого харчування містять частково або повністю гідролізовані білки молочної сироватки...» [73].

**Завдання 2.25.** Ознайомитися з фрагментом статті. Визначити, до якого структурного елемента дослідницької статті цей фрагмент відноситься та обґрунтувати свою позицію.

Фрагмент статті: «Проведені дослідження використання в складі рецептур фаршевих систем сухого знежиреного молока, молочної сироватки та крові харчової виявили нелінійну залежність плинності фаршів при внесенні цих наповнювачів у кількості більшій 12%, що дає змогу передбачувати зміну реологічних показників фаршів при розробленні нових рецептур ковбасних виробів. Дослідження фізико-хімічних і функціонально-технологічних показників ковбасних виробів до та після пастеризації підтверджують ефективність стабілізації фаршевих систем на основі традиційних видів м'ясної сировини для проведення повторної пастеризації при використанні в складі рецептур харчової крові в кількості 3–6% зі збільшенням частки молочних білоквмісних компонентів до 8%» [74].

**Завдання 2.26.** Ознайомитися з фрагментом статті. Визначити, до якого структурного елемента дослідницької статті цей фрагмент відноситься та обґрунтувати свою позицію.

Фрагмент статті: «Важливого значення набувають інновації в технологіях заморожування, плодово-ягідної сировини, які ґрунтуються на використанні широкого спектра кріопротекторів органічної та мінеральної природи [5]\*, на вивченні і впровадженні способів заморожування ягід з ніжною та щільною покривною тканиною [6]\*, розробленні раціональних методів дефростації заморожених напівфабрикатів

з мінімальними втратами клітинного соку [6]\*, створенні системи управління безпекою виробництва заморожених плодів і ягід на етапах життєвого циклу на основі принципів HACCP [7]\* тощо» [11].

*Примітка:* \*джерела інформації із статті [11].

**Завдання 2.27.** Ознайомитися з фрагментом статті. Визначити, до якого структурного елемента дослідницької статті цей фрагмент відноситься та обґрунтувати свою позицію.

Фрагмент статті: «Для того, щоб встановити оптимальне дозування цілого та подрібненого насіння льону для збагачення пшеничного хліба складовими льону готували зразки тіста з борошна пшеничного першого сорту з додаванням цілого насіння льону золотого в кількості 10,0; 15,0 та 20,0% до маси борошна та зразки з внесенням подрібненого насіння льону в кількості 10, 15, 20 та 25% до маси борошна. Контролем був зразок без внесення насіння льону. Тісто готували безопарним способом. Перед замішуванням тіста ціле або подрібнене насіння льону змішували з пшеничним борошном. Замішували тісто в двошвидкісній тістомісильній машині Escher. Оброблення тіста здійснювали вручну, вистоювання тістових заготовок проводили в термостаті за температури  $(38 \pm 2)$  °C та відносній вологості  $(75 \pm 2)$ % до готовності. Вироби випікали в шафовій печі Sveba-Dahlen за температури 220–240 °C» [75].

**Завдання 2.28.** Ознайомитися з фрагментом статті. Визначити, до якого структурного елемента дослідницької статті цей фрагмент відноситься та обґрунтувати свою позицію.

Фрагмент статті: «Як бачимо, найкращий результат порівняно з контрольним зразком (зразок 1) має зразок 2 (відношення хмелю до полину – 80:20). Зразок 4 (відношення хмелю до полину – 50:50) показав найгірші органолептичні показники. Це свідчить про те, що зі збільшенням відсоткової частки полину погіршуються органолептичні властивості готового пива.

Отже, при частковій заміні хмелю полином гірким більше ніж на 30% погіршується смак пива. З'являється виражений полиновий післясмак, стійкий гіркий. Часткова заміна хмелю полином гірким практично не змінює вміст поліфенолів у готовому пиві» [76].

**Завдання 2.29.** Ознайомитися з фрагментом статті. Визначити, до якого структурного елемента дослідницької статті цей фрагмент відноситься та обґрунтувати свою позицію.

Фрагмент статті: «Роботу виконано на базі Навчально-наукового центру фізико-хімічних досліджень. Робота підтримана Міністерством освіти і науки України (проект 0115 U000638)» [77].

**Завдання 2.30.** Ознайомитися з тезами доповіді. Визначити структурні елементи тез доповіді.

Тези доповіді: «На сьогодні використання кави у кулінарії постійно розширюється: входить до складу різноманітних кондитерських виробів, десертів, алкогольних та безалкогольних коктейлів, сиропів для просочування (промочування) у кондитерському виробництві, настоїв, есенцій тощо. Високий вміст кофеїну обмежує використання кави для людей, які мають протипоказання, що потребує використання замінників кави, які не містять кофеїну. Альтернативною сировиною для заміни кави (кавозамінники) є: смажені зерна злаків (ячмінь, пшениця, жито, овес); коріння (цикорій, кульбаба, буряк, топінамбур, батат, чуфа); насіння (каштан, дуб, бук, дерен, груша, баобаб, ріжкове дерево); плоди (глід). Використання цих кавозамінників у рецептурах готових страв закладів ресторанного господарства є актуальним питанням і дозволить покращити смакові властивості, знизити вміст кофеїну та зменшити собівартість готової продукції. Для ароматизації багатьох кондитерських виробів, що мають смак кави, використовують різноманітні есенції та настої. Спиртове екстрагування біологічно-активних речовин, що має рослина сировина, обумовлює антиоксидантні властивості. У дослідженнях використовували водно-спиртові настої (ВСН) смажених зерен злаків (овес, жито, ячмінь), коріння (цикорій), насіння (каштан, дуб) та ВСН натуральної кави (контроль). Антиоксидантну здатність ВСН визначали методом редоксметрії та рН-метрії. Дослідження проводили за об'ємної частки етилового спирту 40 % при температурі ВСН 20 °С. Отримано мінімальне теоретичне значення окисно-відновного потенціалу (ОВП) для ВСН, яке має значення від (Eh<sub>min</sub>) 209 мВ (ВСН вівса) до 298 мВ (ВСН цикорію). Встановлено фактичне вимірне значення ОВП ВСН (Eh<sub>act</sub>) – від 40,0 мВ (ВСН жита) до 98 мВ (ВСН жолудів). Водневий показник ВСН із кавозамінників має значення від 6,03 од. рН (ВСН цикорію) до 7,52 од. рН (ВСН вівса). ВСН із кавозамінників мають значення відновної здатності (енергія відновлення – RE) у діапазоні від RE – 143 мВ (ВСН вівса) до RE – 229 мВ (ВСН цикорію). ВСН із кавозамінників є перспективними напівфабрикатами у виробництві солодких десертів, кондитерських виробів, напоїв алкогольних та слабоалкогольних, коктейлів,

що готують та реалізують заклади ресторанного господарства. Окрім розширення асортименту, збереження традиційного кавового смаку, можливо збільшення антиоксидантних властивостей, що уповільнюють негативні процеси в організмі людини» [78].

**Завдання 2.31.** Підготувати тези доповіді на наукову конференцію за результатами власних наукових досліджень відповідно до рекомендованої структури тез.

**Завдання 2.32.** Підготувати розділ «Вступ» (із списком використаних джерел) для дослідницької статті з назвою: «Фізико-хімічні властивості фруктів як сировини для чипсів».

**Завдання 2.33.** Підготувати реферат на одну із запропонованих тем:

- Аналіз вмісту холестерину в харчових продуктах;
- Концепція здорового харчування;
- Характеристика харчових добавок;
- Ферменти: біологічне значення, структура та властивості;
- Замінники цукру.

## 2.3 ПРЕЗЕНТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Презентація результатів наукових досліджень може проходити на наукових конференціях, симпозиумах, семінарах, круглих столах, конкурсах наукових робіт та стартап-проектів тощо.

**Наукова конференція** – це науковий захід, на якому дослідники презентують результати своїх наукових досліджень науковому співтовариству, що дозволяє в рамках наукової дискусії виявити слабкі та сильні сторони дослідження, запропонувати нові ідеї. У **виступі** (до 10 хв) на конференції доцільно акцентувати увагу на найбільш важливих результатах досліджень. Розгорнутий виступ називається **доповіддю** (15–20 хв). **Типи доповідей** [79]:

- **звітна доповідь** – підсумовуються результати виконання певного етапу наукового дослідження;
- **тематична доповідь** – детально висвітлюється конкретна тема або проблема;
- **інформаційна доповідь** – об'єктивне інформування присутніх щодо стану справ у певній галузі діяльності.

**Науковий симпозіум** – це нарада чи наукова конференція регіонального або міжнародного рівня з певного наукового питання, в якій беруть участь фахівців одного профілю.

**Науковий семінар** – це науковий захід, на якому обговорюються актуальні наукові питань в певній галузі наук або заслуховуються результати дисертаційних досліджень.

**Круглий стіл** – це захід, на якому учасники обговорюють актуальні питання чи проблеми, причому вони висловлюють думку щодо обговорюваного питання, а не щодо думок інших учасників.

**Конкурс наукових робіт** – це конкурс, на якому учасники представляють свої наукові роботи, які оцінюють члени журі за певними критеріями та визначають переможців.

**Конкурс стартап-проектів** – це конкурс, на якому члени журі визначають кращі інноваційні стартап-проекти на стадії ідеї чи реалізації і де учасники можуть отримати пропозиції щодо інвестицій у проєкт.

Як правило, доповіді на наукових конференціях, симпозіумах, семінарах, круглих столах, конкурсах наукових робіт тощо супроводжуються **презентаціями на основі слайд-шоу**. Презентації передбачають демонстрацію слайдів із результатами досліджень (графіки, таблиці, фотографії, схеми тощо). Мультимедійні презентації бувають двох типів [79]: інтерактивні та неінтерактивні. Інтерактивні презентації дозволяють користувачу самому вибирати слайди і переглядати їх в довільному порядку, а неінтерактивні – це коли користувач не може впливати на порядок перегляду презентації. Слайд-шоу робить презентацію образною, привертає увагу до деталей, що допомагає сприйняттю інформації. Рекомендований **порядок розташування слайдів** [79]:

- титульний лист (тема виступу, посада та ПІБ автора);
- зміст презентації (основні питання, що будуть розглянуті під час виступу);
- основна частина презентації (основні результати досліджень);
- висновки;
- слова подяки та контактна інформація.

**Стендова доповідь** – це поєднання плаката (**постера**) (рис. 2.20) з результатами наукового дослідження і усного повідомлення (3–5 хв).

**Структура постера:**

- назва доповіді;
- прізвище та ім'я автора, місце навчання або роботи;
- вступ;
- матеріали та методи дослідження;

- виклад основних результатів та їх обговорення;
- висновки та рекомендації;
- контактна інформація (за потреби);
- ілюстративний матеріал (близько 50% площі плаката).



Рисунок 2.20 – Постер

Розроблено: А. Кравченко, Г. Березова

Рекомендується зробити електронну версію постера та його копії на стандартних аркушах для тих, хто зацікавився представленим матеріалом.

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 2.34.** Підготувати мультимедійну презентацію (щонайменше 10 слайдів) та тематичну доповідь до неї на одну із запропонованих тем:

- Антиаліментарні чинники: різноманітність та механізм дії;
- Використання рослинної сировини у виробництві м'ясних продуктів;
- Класифікація сирів та їх технологічні особливості;
- Консерванти;
- Кріотехнології у виробництві продуктів харчування;
- Мед: органолептичні та фізико-хімічні показники;
- Основи раціонального харчування;
- Принципи створення харчових продуктів із заданими властивостями;
- Радіонукліди у харчових продуктах: джерела забруднень, методи контролю та вплив на організм людини;
- Харчова безпека та основні критерії її оцінювання.

**Завдання 2.35.** Провести за участі здобувачів вищої освіти круглий стіл з обговорення теми: «Органічні продукти харчування – здорове майбутнє».

**Завдання 2.36.** Підготувати стендову доповідь (постер та усне повідомлення) на одну із запропонованих тем:

- Безглютені продукти;
- Білки в харчуванні людини;
- Вегетаріанська кулінарна продукція;
- Енергетичні напої;
- Натуральні спеції як складова оздоровчих продуктів;
- Небезпека синтетичних барвників як харчових добавок;
- Харчові продукти геродістичного призначення.

**Завдання 2.37.** Підготувати інформаційну доповідь за матеріалами, що представлені на слайдах, та запропонувати їй тему (*рис. 2.21*).

Споживачі, які мають непереносимість лактози, алергію на молоко або дотримуються здорового способу життя, все частіше обирають продукти, що містять аналоги молочних продуктів рослинного походження, які мають доступну вартість, високу поживну цінність та містять велику кількість макро- і мікроелементів, вітамінів. Напої з рослинної сировини імітують смак, консистенцію та фізико-хімічні властивості молочних напоїв та є низькокалорійними.



Таблиця 1 – Вміст поживних речовин у різних видах «рослинного молока»

Вид «рослинного молока»	Вміст поживних речовин, г/100 г продукту			
	вуглеводи	білки	жири	волокна
Соеве	4,6...4,9	3,8...3,9	3,1...4,3	0,6...0,7
Мигдалеве	4,3...4,7	2,5...1,9	3,2...3,6	1,1...1,3
Вівсяне	27,3...50,0	1,0...17,3	1,0...12,4	3,25...20,1
Рисове	9,4...12,7	0,2...1,2	0,9...1,1	0,3...0,6
Какао	44,0...55,0	12,0...19,0	20,0...25,0	25,0...35,0
Квасолеве	53,2...59,6	17,9...26,8	0,6...2,4	6,4...7,2
Арахісове	11,5...16,1	25,8...26,3	47,2...49,2	8,0...8,5
Кокосове	3,7...9,4	0,5...2,0	4,1...6,0	5,3...5,9
Конопляне	2,0...20,0	0,8...4,0	1,2...3,0	немає даних

1

«Вівсяне молоко» є надзвичайно популярним напоєм з рослинної сировини у світі, що містить **корисні макро- та мікроелементи** (кальцій, магній, натрій, залізо, марганець, мідь та інші), а також **вітаміни** групи В, вітамін Е та Н.

**Регулярне вживання «вівсяного молока» приносить користь організму:**

- нормалізує рівень цукру та холестерину в крові;
- позитивно впливає на стан шкіри та волосся;
- прискорює обмінні процеси в організмі;
- покращує роботу ШКТ;
- добре тонізує;
- допомагає за фізичної втоми;
- позитивно впливає на роботу мозку.

Разом із тим, «вівсяне молоко» може містити **глютен**, що протипоказаний для людей, які страждають на непереносимість клейковини.

**Основні фізико-хімічні показники «вівсяного молока»:**

- активна кислотність рН 6,8 ± 0,02;
- титрована кислотність – 8,6 ± 0,33 °Т;
- масова частка жиру – 2,4 ± 0,13 %;
- масова частка сухих речовин – 11,46 ± 0,318 %;
- густина – 1015 ± 5,18 кг/м<sup>3</sup>.



2

Рисунок 2.21 – Слайди

Джерело інформації: [80, 81]

**Завдання 2.38.** Підготувати мультимедійну презентацію (щонайменше 5 слайдів) та інформаційну доповідь до неї за матеріалами статті [72]:

Самохвалова О. В., Касабова К. Р., Шидакова-Каменюка О. Г., Загорулько О. Є., Загорулько А. М. Оцінка якості мармеладу з додаванням багатокомпонентної плодово-ягідної пасти. *Наукові праці НУХТ*. 2023. Т. 29, № 1. С. 119–129. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-1-11>

# РОЗДІЛ 3

## МЕТОДИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ



### 3.1 МЕТОДИ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

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 [82]. 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. Розглянемо методи експертного оцінювання: одночасне та попарне ранжування.

#### Одночасне ранжування

Процедура одночасного ранжування містить етапи [82]:

- 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;

#### Приклад 3.1

Експертами оцінюється значущість п'яти факторів, що впливають на тривалість випікання хліба. Отже, найбільш значущий фактор, на думку експерта, отримує найвищий ранг – це ранг 1. Найменш значущий фактор отримує найнижчий ранг 5.

- статистичне оброблення анкет та визначення найбільш значущих факторів (показників);
- оцінювання узгодженості думок експертів.

Статистичне оброблення анкет експертів передбачає обчислення середнього значення суми рангів:

$$T = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i, \quad (3.1)$$

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:

$$\Delta_i = t_i - T, \quad (3.2)$$

де  $\Delta_i$  – відхилення суми рангів  $i$ -го фактора (показника) від середньої суми рангів.

Сума квадратів відхилень від середньої суми рангів:

$$S = \sum_{i=1}^k \Delta_i^2. \quad (3.3)$$

Узгодженість думок експертів перевіряється за коефіцієнтом конкордації:

- для незв'язаних рангів [82]:

$$W = \frac{12S}{l^2(k^3 - k)}, \quad (3.4)$$

- для зв'язаних рангів [82]:

$$W = \frac{12S}{l^2(k^3 - k) - l \sum_{j=1}^l R_j}, \quad (3.5)$$

$$R_j = \sum_{z=1}^L (a_{jz}^3 - a_{jz}), \quad (3.6)$$

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.

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

$$H_0: W=0, \quad (3.7)$$

$$H_1: W \neq 0. \quad (3.8)$$

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 ( $\chi^2$ -критерій):

$$\chi^2 = l(k-1)W. \quad (3.9)$$

Розраховане значення критерію  $\chi^2$  порівнюється із табличним  $\chi_m^2$  значенням, вибраним для рівня значущості  $\alpha=0,05$  та числа ступенів вільності  $f=k-1$  (див. **Додаток А**). 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 (**рис. 3.1**), 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). Уздовж осі абсцис фактори (показники) розташовуються в порядку зменшення їх значущості, тобто зростання суми рангів.

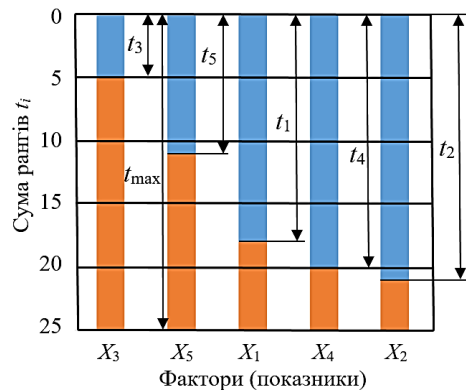


Рисунок 3.1 – Діаграма рангів факторів (показників)  $X_i$  для випадку:  $k=5, l=5, t_{\max}=25$  ( $X_3$  – найбільш значущий;  $X_2$  – найменш значущий)

### Приклад 3.2

Експертам було запропоновано оцінити значущість органолептичних показників майонезу (консистенція та зовнішній вигляд, смак, запах, колір). Результати проведеного оцінювання подані в **таблиці 3.1**.

Таблиця 3.1 – Результати оцінювання (ранги) значущості органолептичних показників майонезу

Показник майонезу	Експерти					$t_i$	$\Delta_i$	$\Delta_i^2$
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5			
Консистенція та зовнішній вигляд ( $X_1$ )	1	2	1	1	1	6	-6,5	42,25
Смак ( $X_2$ )	2	1	2	2	2	9	-3,5	12,25
Запах ( $X_3$ )	4	4	3	3	3	17	4,5	20,25
Колір ( $X_4$ )	3	3	4	4	4	18	5,5	30,25

Середнє значення суми рангів (значення  $t_i$  беруться з **таблиці 3.1**):

$$T = (6 + 9 + 17 + 18) / 4 = 12,5.$$

Сума квадратів відхилень від середньої суми рангів:

$$S = 42,25 + 12,25 + 20,25 + 30,25 = 105.$$

Оскільки ранги не зв'язані, то коефіцієнт конкордації розраховується за виразом (3.4):

$$W = \frac{12 \cdot 105}{5^2 \cdot (4^3 - 4)} = 0,84.$$

Отже, думки експертів можна вважати достатньо узгодженими.

Статистичний критерій Пірсона ( $\chi^2$ -критерій):

$$\chi^2 = 5 \cdot (4-1) \cdot 0,84 = 12,6.$$

Для рівня значущості  $\alpha=0,05$  та числа ступенів вільності  $f=4-1=3$  виберемо табличне значення критерію  $\chi_m^2=7,82$  (**Додаток А**).

Оскільки  $\chi^2=12,6 > \chi_m^2=7,82$ , то нульова гіпотеза  $H_0$  відхиляється і думки фахівців вважаються узгодженими.

За результатами ранжування будемо перевернути діаграму рангів показників. Вздовж осі ординат діаграми відкладемо максимальну можливу суму рангів (для випадку  $k=4, l=5$  ця сума рівна  $t_{\max}=4 \cdot 5=20$ ), а після цього відкладемо отримані суми рангів для кожного із показників (рис. 3.2). Уздовж осі абсцис розташуємо показники в порядку зменшення їх значущості, тобто зростання суми рангів.

Поміж органолептичних показників майонезу найбільш значущим є консистенція та зовнішній вигляд ( $X_1$ ), оскільки цей показник отримав найменшу суму рангів (6). На думку експертів, найменш значущим органолептичним показником майонезу є колір ( $X_4$ ), оскільки цей показник отримав найбільшу суму рангів (18). Смак ( $X_2$ ) та запах ( $X_3$ ) майонезу займають, відповідно, другу (сума рангів 9) та третю (сума рангів 17) позиції за рівнем значущості.

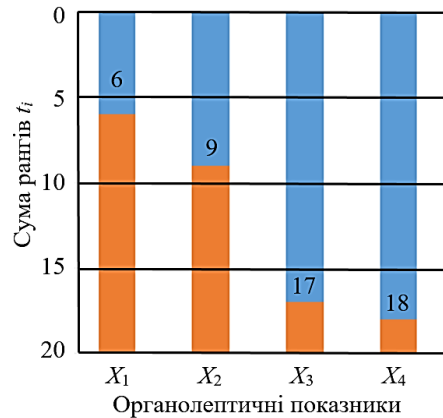


Рисунок 3.2 – Діаграма рангів органолептичних показників майонезу

### Приклад 3.3

Необхідно визначити найбільш значущі фактори, що впливають на рівномірність сушіння яблучних чипсів, із залученням 7 експертів. Вивчення стану проблеми дозволило скласти перелік факторів, які можуть впливати на рівномірність сушіння яблучних чипсів:

- вологість яблук (фактор  $X_1$ );
- товщина шматочків яблук (фактор  $X_2$ );
- висота шару шматочків яблук (фактор  $X_3$ );

- температура сушильного агента (фактор  $X_4$ );
  - швидкість сушильного агента (фактор  $X_5$ );
  - спосіб підведення сушильного агента до сировини (фактор  $X_6$ ).
- Результати оцінювання значущості факторів подані в **таблиця 3.2**.

Таблиця 3.2 – Результати оцінювання (ранги) впливовості різних факторів на рівномірність сушіння яблучних чипсів

Експерти	Фактори ( $k=6$ )					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
№ 1	3	1, 2	1, 2	4	5	6
№ 2	3	1	2	4	5	6
№ 3	3, 4	1, 2	1, 2	3, 4	5	6
№ 4	3	1	2	4	5	6
№ 5	3	2	1	4	5	6
№ 6	3	1	2	4	6	5
№ 7	3	1	2	4	5, 6	5, 6

У **таблиці 3.2** є зв'язані (однакові) ранги, які визначили експерти № 1, № 3 та № 7. Сума рангів факторів у кожному рядку **таблиці 3.2** має дорівнювати  $k \cdot (k+1)/2 = 6 \cdot (6+1)/2 = 21$ . Якщо ранги факторів однакові, то цим факторам надають ранг, що дорівнює середньому значенню тих позицій, які ці фактори поділили між собою, тобто:

- поміж факторів  $X_2$  та  $X_3$  експерт № 1 не зміг визначити більш значущий, тому обидва фактори мають ранги 1 та 2, відповідно, їм надають ранг  $(1+2)/2 = 1,5$ ;
- поміж факторів  $X_2$  та  $X_3$  експерт № 3 не зміг визначити більш значущий, тому надав їм однакові ранги 1 та 2, відповідно, цим факторам надають ранг  $(1+2)/2 = 1,5$ ;
- поміж факторів  $X_1$  та  $X_4$  експерт № 3 також не зміг визначити більш значущий, тому надав їм однакові ранги 3 та 4, відповідно, цим факторам надають ранг  $(3+4)/2 = 3,5$ ;
- поміж факторів  $X_5$  та  $X_6$  експерт № 7 не зміг визначити більш значущий, тому надав їм однакові ранги 5 та 6, відповідно, цим факторам надають ранг  $(5+6)/2 = 5,5$ .

Ураховуючи розподіл рангів між зв'язаними факторами, сформуємо нормальну матрицю ранжування (**таблиця 3.3**), в якій сума рангів усіх рядків дорівнює 21.

Таблиця 3.3 – Нормальна матриця ранжування

Експерти (j)	Фактори (k=6)						Сума рангів	R <sub>j</sub>
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ 1	3	1,5	1,5	4	5	6	21	6
№ 2	3	1	2	4	5	6	21	–
№ 3	3,5	1,5	1,5	3,5	5	6	21	12
№ 4	3	1	2	4	5	6	21	–
№ 5	3	2	1	4	5	6	21	–
№ 6	3	1	2	4	6	5	21	–
№ 7	3	1	2	4	5,5	5,5	21	6
t <sub>i</sub>	21,5	9	12	27,5	36,5	40,5	147	$\sum_{j=1}^l R_j = 24$
Δ <sub>i</sub>	–3	–15,5	–12,5	3	12	16		
Δ <sub>i</sub> <sup>2</sup>	9	240,25	156,25	9	144	256		

У експерта № 1 кількість груп рангів, які повторюються, L=1 (двічі повторюється ранг 1,5). Відповідно, у відповідях експерта № 1 кількість повторень в цій групі рангів a<sub>11</sub>=2, тому за виразом (3.6): R<sub>1</sub>=(2<sup>3</sup>–2)=6.

У експерта № 3 кількість груп рангів, які повторюються, L=2 (двічі повторюється ранг 1,5 та двічі повторюється ранг 3,5). Відповідно, у відповідях експерта № 3 кількість повторень в першій групі рангів a<sub>31</sub>=2 та в другій групі рангів a<sub>32</sub>=2, тому за виразом (3.6): R<sub>3</sub>=(2<sup>3</sup>–2)+(2<sup>3</sup>–2)=12.

Середнє значення суми рангів (значення t<sub>i</sub> беруться з таблиці 3.3):

$$T = (21,5 + 9 + 12 + 27,5 + 36,5 + 40,5) / 6 = 24,5.$$

Сума квадратів відхилень від середньої суми рангів (таблиця 3.3):

$$S = 9 + 240,25 + 156,25 + 9 + 144 + 256 = 814,5.$$

Оскільки ранги зв'язані, то коефіцієнт конкордації розраховується за виразом (3.5):

$$W = \frac{12 \cdot 814,5}{7^2 \cdot (6^3 - 6) - 7 \cdot 24} = 0,97.$$

Отже, думки експертів можна вважати узгодженими.  
Статистичний критерій Пірсона (χ<sup>2</sup>-критерій):

$$\chi^2 = 7 \cdot (6 - 1) \cdot 0,97 = 33,95.$$

Для рівня значущості α=0,05 та числа ступенів вільності f=6–1=5 виберемо табличне значення критерію χ<sub>m</sub><sup>2</sup>=11,07 (Додаток А).

Оскільки χ<sup>2</sup>=33,95 > χ<sub>m</sub><sup>2</sup>=11,07, то нульова гіпотеза H<sub>0</sub> відхиляється і думки фахівців вважаються узгодженими.

За результатами ранжування побудуємо перевернуту діаграму рангів факторів. Вздовж осі ординат діаграми відкладемо максимальну можливу суму рангів (для випадку k=6, l=7 ця сума рівна t<sub>max</sub>=6·7=42), а після цього відкладемо суми рангів для кожного із факторів (рис. 3.3). На рис. 3.3 розташуємо фактори в порядку зменшення їх значущості.

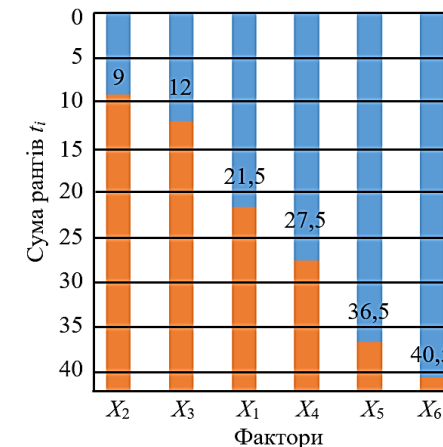


Рисунок 3.3 – Діаграма рангів факторів, що можуть впливати на рівномірність сушіння яблучних чипсів

Поміж факторів, що можуть впливати на рівномірність сушіння яблучних чипсів, найбільш значущим є товщина шматочків яблук (X<sub>2</sub>), оскільки цей фактор отримав найменшу суму рангів (9). Найменш значущим фактором є спосіб підведення сушильного агента до сировини (X<sub>6</sub>), оскільки цей фактор отримав найбільшу суму рангів (40,5).

Інші фактори розташувалися у порядку зменшення їх значущості ось так: висота шару шматочків яблук ( $X_3$ ); вологість яблук ( $X_1$ ); температура сушильного агента ( $X_4$ ); швидкість сушильного агента ( $X_5$ ).

### Попарне ранжування

Процедура попарного ранжування містить етапи [82]:

- 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 3.4**, де в заголовках рядків та стовпців зазначаються 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 3.4** – значення експерт не записує;

Таблиця 3.4 – Таблиця попарних порівнянь п'яти факторів (показників) для одного експерта

	$X_1$ ( $j=1$ )	$X_2$ ( $j=2$ )	$X_3$ ( $j=3$ )	$X_4$ ( $j=4$ )	$X_5$ ( $j=5$ )
$X_1$ ( $i=1$ )	–	1	0	1	1
$X_2$ ( $i=2$ )	0	–	1	0	0
$X_3$ ( $i=3$ )	1	0	–	1	1
$X_4$ ( $i=4$ )	0	1	0	–	0
$X_5$ ( $i=5$ )	0	1	0	1	–

- після заповнення кожним експертом **таблиці 3.4** 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 визначається за значенням коефіцієнта  $W$  [82]:

$$W = \frac{Q}{Q_{\max}}. \quad (3.10)$$

Величина  $Q$  визначається за виразом:

$$Q = \sum_{i=1, j=1}^k a_{ij}^2 - l \sum_{i=1, j=1}^k a_{ij} + C_l^2 \cdot C_k^2, \quad (3.11)$$

$$C_l^2 = \frac{l!}{2!(l-2)!}, \quad (3.12)$$

$$C_k^2 = \frac{k!}{2!(k-2)!}, \quad (3.13)$$

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

Величина  $Q_{\max}$  визначається за виразом:

$$Q_{\max} = \frac{l(l-1)k(k-1)}{4}. \quad (3.14)$$

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

$$\chi^2 = \frac{4}{l-2} \left( Q - 0,5 \cdot C_l^2 \cdot C_k^2 \cdot \frac{l-3}{l-2} \right). \quad (3.15)$$

Обчислене значення критерію  $\chi^2$  порівнюється із табличним  $\chi_m^2$  значенням, вибраним (див. **Додаток А**) для рівня значущості  $\alpha=0,05$  та числа ступенів вільності  $f$ :

$$f = C_k^2 \cdot \frac{l(l-1)}{(l-2)^2}. \quad (3.16)$$

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

### Приклад 3.4

Сім експертів провели попарне ранжування шести факторів. Узагальнені результати ранжування подані в **таблиці 3.5**. Визначити значущість факторів та перевірити узгодженість думок експертів.

Таблиця 3.5 – Узагальнена таблиця попарних порівнянь факторів ( $l=7, k=6$ )

Фактори	$X_1$ ( $j=1$ )	$X_2$ ( $j=2$ )	$X_3$ ( $j=3$ )	$X_4$ ( $j=4$ )	$X_5$ ( $j=5$ )	$X_6$ ( $j=6$ )	Сума
$X_1$ ( $i=1$ )	–	5	0	2	7	7	21
$X_2$ ( $i=2$ )	2	–	6	1	2	3	14
$X_3$ ( $i=3$ )	7	1	–	1	4	0	13
$X_4$ ( $i=4$ )	5	6	6	–	5	6	28
$X_5$ ( $i=5$ )	0	5	3	2	–	7	17
$X_6$ ( $i=6$ )	0	4	7	1	0	–	12
Сума	14	21	22	7	18	23	105

За обчисленими сумами рангів у рядках встановлено, що найбільш значущим є фактор  $X_4$ , який має найбільшу суму в рядку (28). Цей же фактор має найменше значення суми в стовпці (7). Інші фактори розташувалися в порядку зменшення їх значущості таким чином (за сумами рядків):  $X_1$  (21),  $X_5$  (17),  $X_2$  (14),  $X_3$  (13),  $X_6$  (12). Аналогічні результати отримаємо, якщо порівнювати значущість факторів за сумами в стовпцях (що менша сума рангів, то більш значущий фактор):  $X_4$  (7),  $X_1$  (14),  $X_5$  (18),  $X_2$  (21),  $X_3$  (22),  $X_6$  (23).

Перевіримо узгодженість думок експертів за виразами (3.10)–(3.16). Проведемо обчислення величини  $Q$  за числами, які розташовані в комірках вище діагоналі підсумкової **таблиці 3.5**:

$$Q = (5^2 + 2^2 + 7^2 + 7^2 + 6^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 1^2 + 4^2 + 5^2 + 6^2 + 7^2) - 7 \cdot (5 + 2 + 7 + 7 + 6 + 1 + 2 + 3 + 1 + 4 + 5 + 6 + 7) + 21 \cdot 15 = 227.$$

Перевіримо правильність розрахунків обчисливши  $Q$  за числами, які розташовані в комірках нижче діагоналі підсумкової **таблиці 3.5**:

$$Q = (2^2 + 7^2 + 1^2 + 5^2 + 6^2 + 6^2 + 5^2 + 3^2 + 2^2 + 4^2 + 7^2 + 1^2) - 7 \cdot (2 + 7 + 1 + 5 + 6 + 6 + 5 + 3 + 2 + 4 + 7 + 1) + 21 \cdot 15 = 227.$$

Отже, значення  $Q$ , обчислені за числами, що розташовані в комірках таблиці вище та нижче діагоналі, є однаковими.

Обчислимо величини за виразами (3.12)–(3.14):

$$C_i^2 = \frac{7!}{2!(7-2)!} = 21,$$

$$C_k^2 = \frac{6!}{2!(6-2)!} = 15,$$

$$Q_{\max} = \frac{7 \cdot (7-1) \cdot 6 \cdot (6-1)}{4} = 315.$$

Обчислимо коефіцієнт  $W$  за виразом (3.10):

$$W = 227 / 315 = 0,72.$$

Отже, думки експертів можна вважати достатньо узгодженими. Критерій Пірсона ( $\chi^2$ -критерій) за виразом (3.15):

$$\chi^2 = \frac{4}{7-2} \left( 227 - 0,5 \cdot 21 \cdot 15 \cdot \frac{7-3}{7-2} \right) = 80,8.$$

Число ступенів вільності  $f$  за виразом (3.16):

$$f = 15 \cdot \frac{7 \cdot (7-1)}{(7-2)^2} = 25,2.$$

Для рівня значущості  $\alpha=0,05$  та числа ступенів вільності  $f=25,2$  табличне значення критерію  $\chi_m^2=37,94$ . Оскільки  $\chi^2=80,8 > \chi_m^2=37,94$ , то гіпотеза  $H_0$  відхиляється і думки фахівців вважаються узгодженими.

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.1.** Провести аналіз джерел науково-технічної інформації та визначити фактори (щонайменше п'ять), які чинять вплив на процес випікання хліба. Сформувати анкети для опитування експертів

щодо впливовості цих факторів на процес випікання хліба 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 випікання хліба. Перевірити узгодженість думок експертів та побудувати діаграму рангів факторів.

**Завдання 3.2.** Експертам було запропоновано оцінити впливовість на тривалість зберігання борошна в закладах ресторанного господарства таких факторів: вид борошна ( $X_1$ ); сорт борошна ( $X_2$ ); вологість борошна ( $X_3$ ); пакування для зберігання борошна ( $X_4$ ); санітарний стан складських приміщень ( $X_5$ ); температура повітря в складському приміщенні ( $X_6$ ); відносна вологість в складському приміщенні ( $X_7$ ). Урахувати, що найвищий ранг (1) експерти давали фактору, який, на їх думку, є найбільш значущим.

Результати оцінювання експертами факторів подані в *таблиці 3.6*. Визначити найбільш впливовий і найменш впливовий фактори на тривалість зберігання борошна, а також узгодженість думок експертів. Побудувати діаграму рангів факторів.

*Таблиця 3.6* – Результати опитування експертів щодо факторів, які впливають на тривалість зберігання борошна

Фактори	Експерти							
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
$X_1$	7	7	6	7	6	6	6	6
$X_2$	6	6	7	6	7	7	7	7
$X_3$	3	1	2	1	1	1	2	1
$X_4$	5	5	5	4	5	5	5	5
$X_5$	4	4	3	5	4	3	4	3
$X_6$	2	3	4	3	2	4	3	4
$X_7$	1	2	1	2	3	2	1	2

**Завдання 3.3.** Експерти оцінювали впливовість на якість та безпечність морозива таких факторів: якість та безпечність сировини ( $X_1$ ); дотримання технологічних режимів виробництва ( $X_2$ ); санітарний стан виробництва ( $X_3$ ); вид пакування продукції ( $X_4$ ); кваліфікація працівників на виробництві ( $X_5$ ); умови зберігання продукції ( $X_6$ ).

Найвищий ранг (1) експерти давали фактору, який, на їх думку, є найбільш впливовим на якість та безпечність морозива. Результати оцінювання експертами факторів подані в *таблиці 3.7*.

*Таблиця 3.7* – Результати опитування експертів

Фактори	Експерти						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
$X_1$	1, 2	2	1	1, 2	1	2	2
$X_2$	1, 2	1	2, 3	1, 2	2	1	1
$X_3$	3	3	2, 3	3, 4	3	3	3
$X_4$	5	6	5	5	5, 6	6	6
$X_5$	6	5	6	6	5, 6	5	5
$X_6$	4	4	4	3, 4	4	4	4

Визначити впливовість факторів на якість та безпечність морозива, а також узгодженість думок експертів. Побудувати діаграму рангів факторів. Під час оброблення результатів опитування урахувати, що у відповідях окремих експертів є зв'язані ранги.

**Завдання 3.4.** Експерти провели попарне ранжування факторів, що впливають на характер розвитку мікробіологічних процесів у консервах. Фактори, що були запропоновані для ранжування експертам: санітарно-гігієнічні умови виробництва консервів ( $X_1$ ); режим теплового оброблення (стерилізації) консервів ( $X_2$ ); температура зберігання консервів ( $X_3$ ); тривалість зберігання консервів ( $X_4$ ); форма, вид та розмір тари ( $X_5$ ). Результати ранжування експертами факторів подані в *таблицях 3.8–3.14*. Визначити впливовість факторів, а також узгодженість думок експертів.

*Таблиця 3.8* – Таблиця попарних порівнянь п'яти факторів (експерт № 1)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$	–	0	0	0	1
$X_2$	1	–	1	1	1
$X_3$	1	0	–	1	1
$X_4$	1	0	0	–	1
$X_5$	0	0	0	0	–

Таблиця 3.9 – Таблиця попарних порівнянь п'яти факторів (експерт № 2)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$	–	1	0	0	1
$X_2$	0	–	1	1	1
$X_3$	1	0	–	0	1
$X_4$	1	0	1	–	1
$X_5$	0	0	0	0	–

Таблиця 3.10 – Таблиця попарних порівнянь п'яти факторів (експерт № 3)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$	–	0	0	0	1
$X_2$	1	–	1	1	1
$X_3$	1	0	–	0	1
$X_4$	1	0	1	–	1
$X_5$	0	0	0	0	–

Таблиця 3.11 – Таблиця попарних порівнянь п'яти факторів (експерт № 4)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$	–	0	1	0	1
$X_2$	1	–	1	1	1
$X_3$	0	0	–	1	1
$X_4$	1	0	0	–	1
$X_5$	0	0	0	0	–

Таблиця 3.12 – Таблиця попарних порівнянь п'яти факторів (експерт № 5)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$	–	0	0	0	1
$X_2$	1	–	1	1	1
$X_3$	1	0	–	1	1
$X_4$	1	0	0	–	1
$X_5$	0	0	0	0	–

Таблиця 3.13 – Таблиця попарних порівнянь п'яти факторів (експерт № 6)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$	–	0	0	0	1
$X_2$	1	–	1	1	1
$X_3$	1	0	–	1	1
$X_4$	1	0	0	–	1
$X_5$	0	0	0	0	–

Таблиця 3.14 – Таблиця попарних порівнянь п'яти факторів (експерт № 7)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$	–	0	0	0	1
$X_2$	1	–	1	1	1
$X_3$	1	0	–	1	1
$X_4$	1	0	0	–	1
$X_5$	0	0	0	0	–

### 3.2 ВИЗНАЧЕННЯ КВАЛІМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ХАРЧОВОГО ПРОДУКТУ

Якість харчового продукту – це сукупність властивостей продукту, що обумовлює його придатність задовольняти потреби організму людини в енергії та поживних речовинах за умови його безпечності протягом визначеного строку придатності до споживання.

Якість харчового продукту характеризується абсолютними та відносними показниками якості. **Абсолютний показник якості** – це фактичне значення показника в одиницях вимірювання цього показника. **Відносний показник** визначається шляхом порівняння показника якості продукту з базовим значенням цього показника.

Базовими значеннями показників харчового продукту є:

- значення показників кращих вітчизняних або закордонних зразків харчового продукту;
- значення показників якості харчового продукту, що отримані експериментальними та/або теоретичними методами досліджень;
- значення показників якості харчового продукту виробника-конкурента;

- значення показників якості харчового продукту, що визначені у нормативних документах (ДСТУ, ТУ, Збірники рецептур тощо).

Комплексне оцінювання якості харчового продукту, як правило, проводиться за середньозваженим арифметичним показником. Цей показник може обчислюватися за сукупністю як абсолютних  $P_i$ , так і відносних  $K_i$  одиничних показників якості. Найчастіше обчислюють середньозважені відносні арифметичні показники якості.

Обчислення середньозважених арифметичних показників якості (комплексних показників якості) проводиться за виразами:

- середньозважений абсолютний показник якості:

$$Q_{абс.} = \sum_{i=1}^m m_{ci} P_i, \quad (3.17)$$

де  $Q_{абс.}$  – середньозважений абсолютний показник якості харчового продукту;  $m_{ci}$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника якості продукту;  $P_i$  – абсолютний  $i$ -й показник якості харчового продукту;

### Приклад 3.5

Проведене за десятибальною шкалою оцінювання органолептичних показників супів-пюре: «Овочевий із квасолею»; «Томатний із сочевицею та беконом». Коефіцієнти вагомості органолептичних показників супів [5]: зовнішній вигляд  $m_{c1}=0,3$ ; колір  $m_{c2}=0,2$ ; консистенція  $m_{c3}=0,2$ ; смак і запах  $m_{c4}=0,3$ . Середні значення кількості балів, що отримали органолептичні показники супів-пюре, подані в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 – Результати оцінювання органолептичних показників супів-пюре

Суп-пюре	Середнє значення оцінки показника в балах ( $P_i$ )			
	зовнішній вигляд	колір	консистенція	смак та запах
Овочевий із квасолею	10,0	9,0	9,0	9,0
Томатний із сочевицею та беконом	9,7	9,0	9,5	9,0

Джерело інформації: [5]

Обчислимо середньозважений абсолютний показник якості супів-пюре за виразом (3.17):

- для супу-пюре «Овочевий із квасолею»:

$$Q_{абс.1} = 0,3 \cdot 10 + 0,2 \cdot 9 + 0,2 \cdot 9 + 0,3 \cdot 9 = 9,3 \text{ балів};$$

- для супу-пюре «Томатний із сочевицею та беконом»:

$$Q_{абс.2} = 0,3 \cdot 9,7 + 0,2 \cdot 9 + 0,2 \cdot 9,5 + 0,3 \cdot 9 = 9,31 \text{ балів}.$$

Отже, за середньозваженим абсолютним показником якості суп-пюре «Томатний із сочевицею та беконом» є кращим, ніж суп-пюре «Овочевий із квасолею».

- середньозважений відносний показник якості:

$$Q_{від.} = \sum_{i=1}^m m_{ci} K_i^+ + \sum_{z=1}^n m_{cz} K_z^-, \quad (3.18)$$

де  $Q_{від.}$  – середньозважений відносний показник якості харчового продукту;  $m_{ci}$ ,  $m_{cz}$  – відповідно, коефіцієнти вагомості  $i$ -го та  $z$ -го показника якості продукту;  $K_i^+$  – відносний  $i$ -й показник якості продукту (застосовується для показників, за збільшення абсолютного значення яких якість продукту краща);  $K_z^-$  – відносний  $z$ -й показник якості продукту (застосовується для показників, за зменшення абсолютного значення яких якість продукту краща);  $m$ ,  $n$  – відповідно, кількість відносних показників  $K_i^+$  та  $K_z^-$ .

Відносний  $i$ -й показник якості харчового продукту обчислюється за виразом:

$$K_i^+ = \frac{P_i}{P_{баз.i}}, \quad (3.19)$$

де  $P_i$  – абсолютне (фактичне) значення  $i$ -го показника якості харчового продукту;  $P_{баз.i}$  – базове (рекомендоване) значення  $i$ -го показника якості харчового продукту.

Відносний  $z$ -й показник якості харчового продукту обчислюється за виразом:

$$K_z^- = \frac{P_{баз.z}}{P_z}, \quad (3.20)$$

де  $P_z$  – абсолютне (фактичне) значення  $z$ -го показника якості харчового продукту;  $P_{баз.z}$  – базове (рекомендоване) значення  $z$ -го показника якості харчового продукту.

### Приклад 3.6

Проведене визначення фізико-хімічних показників майонезів столових низькокалорійних від двох виробників (*таблиця 3.16*). Базові значення показників відповідають вимогам і нормам ДСТУ 4487:2005 [83]: масова частка жиру  $P_{\text{баз.1}}=40\%$ ; стійкість емульсії  $P_{\text{баз.2}}=97\%$ ; масова частка консерванту  $P_{\text{баз.3}}=0,1\%$ . Коефіцієнти вагомості показників майонезу: масова частка жиру  $m_{c1}=0,4$ ; стійкість емульсії  $m_{c2}=0,35$ ; масова частка консерванту  $m_{c3}=0,25$ .

Таблиця 3.16 – Фізико-хімічні показники майонезів

Майонез	Масова частка жиру $P_1$ , %	Стійкість емульсії $P_2$ , %	Масова частка консерванту $P_3$ , %
Майонез № 1	41	98	0,05
Майонез № 2	32	97	0,08

Обчислимо відносні показники якості майонезів. Що менші масові частки жиру та консерванту в низькокалорійних майонезах, то краще. Що більша стійкість емульсії майонезу, то краще. Отже, відносні показники для масової частки жиру і консерванту обчислюються за виразом (3.20), а для стійкості емульсії – за виразом (3.19). Обчислимо відносні показники якості та середньозважені відносні показники якості для майонезів:

- для майонезу № 1:

$$K_1^+ = 98/97 = 1,01, \quad K_1^- = 40/41 = 0,98, \quad K_2^- = 0,1/0,05 = 2;$$

$$Q_{\text{від.1}} = 0,35 \cdot 1,01 + 0,4 \cdot 0,98 + 0,25 \cdot 2 = 1,24;$$

- для майонезу № 2:

$$K_1^+ = 97/97 = 1, \quad K_1^- = 40/32 = 1,25, \quad K_2^- = 0,1/0,08 = 1,25;$$

$$Q_{\text{від.2}} = 0,35 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,25 + 0,25 \cdot 1,25 = 1,16.$$

Отже, майонез № 1 має більший середньозважений відносний показник якості, ніж майонез № 2.

**Коефіцієнт вагомості** показника якості харчового продукту – це кількісна характеристика значущості цього показника поміж інших показників якості продукту. Для визначення коефіцієнтів вагомості показників якості використовують методи експертного оцінювання, зокрема метод одночасного ранжування (див. п. 3.1). Особливість використання цього методу для визначення коефіцієнтів вагомості полягає в тому, що експерти, оцінюючи

значущість показників якості продуктів, проводять зворотне ранжування показників, тобто найменш значущому показнику присвоюється ранг 1, наступному за значущістю показнику – ранг 2 і так далі.

Коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника якості харчового продукту обчислюється за виразом:

$$m_{ci} = \frac{t_i}{\sum_{i=1}^k t_i}, \quad (3.21)$$

де  $m_{ci}$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника якості продукту;  $t_i$  – сума рангів  $i$ -го показника якості харчового продукту;  $k$  – кількість показників якості харчового продукту, значущість яких оцінюється.

Сума коефіцієнтів вагомості показників якості харчового продукту дорівнює 1. Відповідно, значення коефіцієнта вагомості показника може змінюватися в межах  $0 < m_{ci} < 1$ . Що більше значення коефіцієнта вагомості, то більш значущий показник якості харчового продукту.

Узгодженість думок експертів щодо вагомості всіх показників якості харчового продукту перевіряється за допомогою коефіцієнта конкордації (див. п. 3.1).

Оцінювання експертами вагомості кожного показника якості може також відбуватися шляхом виставлення бальної оцінки за певною шкалою балів, де найбільш важливому показнику експерти можуть надати максимальну кількість балів. Тоді коефіцієнти вагомості показників також обчислюються за виразом (3.21), але в цьому випадку  $t_i$  – це сума балів  $i$ -го показника, які виставили всі експерти. У цьому випадку для обчислення коефіцієнта конкордації отримані бали необхідно перевести в ранги, зокрема показнику з найбільшими балами від експерта необхідно надати ранг 1, наступному показнику за кількістю балів – ранг 2 і так далі. Або ж узгодженість думок експертів щодо вагомості кожного показника якості можна оцінити за допомогою коефіцієнта варіації [84]:

$$V_i = \sqrt{\frac{\sum_{z=1}^l (a_{iz} - \bar{a}_i)^2}{l-1}} \cdot \frac{1}{\bar{a}_i} \cdot 100\%, \quad (3.22)$$

де  $V_i$  – коефіцієнт варіації для  $i$ -го показника якості, %;  $\bar{a}_i$  – середнє арифметичне балів, які виставили експерти  $i$ -му показнику якості;  $a_{iz}$  – бал, який виставив  $z$ -й експерт  $i$ -му показнику якості;  $l$  – кількість залучених експертів.

Зв'язок значення коефіцієнта варіації показника якості з узгодженістю думок експертів [84]:  $V=26-35\%$  – узгодженість думок нижче середньої;  $V=16-25\%$  – узгодженість середня;  $V=11-15\%$  – узгодженість вище середньої;  $V \leq 10\%$  – узгодженість висока.

### Приклад 3.7

Експертам було запропоновано оцінити вагомість органолептичних показників соковмісних напоїв (смак, запах, колір, консистенція та зовнішній вигляд) та провести їх оцінювання для двох модельних композицій напою. Органолептичні показники модельних композицій соковмісних напоїв оцінювали із використанням п'ятибальної шкали: 1 бал – якість напою дуже погана; 2 бали – якість погана; 3 бали – якість задовільна; 4 бали – якість хороша; 5 балів – якість відмінна. Під час оцінювання вагомості показників найменш значущому показнику присвоювався ранг 1, а найбільш значущому – ранг 4 (зворотне ранжування чотирьох показників).

Результати оцінювання експертами вагомості органолептичних показників подані в **таблиці 3.17**. Результати оцінювання органолептичних показників соковмісних напоїв подані в **таблицях 3.18–3.19**.

За результатами оцінювання необхідно визначити середньозважений відносний показник якості композицій напоїв.

Таблиця 3.17 – Результати оцінювання вагомості органолептичних показників соковмісних напоїв

Показник напою	Експерти					$t_i$	$\Delta_i^2$	$m_{ci}$
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5			
Консистенція та зовнішній вигляд	4	4	4	3	4	19	42,25	0,38
Смак	2	3	3	4	3	15	6,25	0,30
Запах	1	1	2	1	2	7	30,25	0,14
Колір	3	2	1	2	1	9	12,25	0,18
Всього						50	91	1,00

Обчислимо коефіцієнти вагомості органолептичних показників:

- консистенція та зовнішній вигляд:  $m_{c1} = 19 / (19 + 15 + 7 + 9) = 0,38$ ;
- смак:  $m_{c2} = 15 / (19 + 15 + 7 + 9) = 0,3$ ;
- запах:  $m_{c3} = 7 / (19 + 15 + 7 + 9) = 0,14$ ;
- колір:  $m_{c4} = 9 / (19 + 15 + 7 + 9) = 0,18$ .

Перевіримо проведені обчислення:  $0,38 + 0,3 + 0,14 + 0,18 = 1$ . Отже, обчислення коефіцієнтів вагомості органолептичних показників соковмісних напоїв проведено правильно. Найбільш вагомий показник соковмісних напоїв – це консистенція та зовнішній вигляд, а найменш вагомий – запах.

Середнє значення суми рангів:

$$T = (19 + 15 + 7 + 9) / 4 = 12,5.$$

Сума квадратів відхилень від середньої суми рангів:

$$S = 42,25 + 6,25 + 30,25 + 12,25 = 91.$$

Коефіцієнт конкордації розраховується за виразом (3.4):

$$W = \frac{12 \cdot 91}{5^2 \cdot (4^3 - 4)} = 0,73.$$

Отже, думки експертів можна вважати достатньо узгодженими.

Статистичний критерій Пірсона ( $\chi^2$ -критерій):

$$\chi^2 = 5 \cdot (4 - 1) \cdot 0,73 = 10,95.$$

Для рівня значущості  $\alpha = 0,05$  та числа ступенів вільності  $f = 4 - 1 = 3$  виберемо табличне значення критерію  $\chi_m^2 = 7,82$  (Додаток А).

Оскільки  $\chi^2 = 10,95 > \chi_m^2 = 7,82$ , то думки фахівців узгоджені.

Обчислимо середнє арифметичне балів, які виставили експерти показнику «консистенції та зовнішньому вигляду» (**таблиця 3.18**):

$$\bar{a}_i = (5 + 5 + 4 + 5 + 4) / 5 = 4,6.$$

Коефіцієнт варіації показника «консистенції та зовнішнього вигляду»:

$$V_1 = \sqrt{\frac{(5 - 4,6)^2 + (5 - 4,6)^2 + (4 - 4,6)^2 + (5 - 4,6)^2 + (4 - 4,6)^2}{5 - 1}} \cdot 100\% = 11,9\%.$$

Статистичне оброблення усіх даних **таблиць 3.18–3.19** проходить аналогічно.

Таблиця 3.18 – Результати оцінювання органолептичних показників соковмісного напою № 1

Показник напою	Експерти					$\bar{a}_i$	V, %
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5		
Консистенція та зовнішній вигляд	5	5	4	5	4	4,6	11,9
Смак	5	4	5	5	5	4,8	9,3
Запах	5	5	4	4	4	4,4	12,4
Колір	3	4	4	4	3	3,6	15,2

Таблиця 3.19 – Результати оцінювання органолептичних показників соковмісного напою № 2

Показник напою	Експерти					$\bar{a}_i$	V, %
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5		
Консистенція та зовнішній вигляд	4	4	3	4	4	3,8	11,8
Смак	3	4	4	4	4	3,8	11,8
Запах	5	5	4	5	5	4,8	9,3
Колір	5	5	5	5	5	5,0	0,0

Оскільки коефіцієнти варіації  $V$  оцінок експертів змінюються в межах від 0 до 15,2%, то узгодженість їх думок щодо органолептичних показників соковмісних напоїв змінюється від вище середньої до високої.

Обчислимо середньозважений абсолютний показник якості соковмісних напоїв за виразом (3.17) (в якості абсолютного показника береться середнє арифметичне балів для цього показника з **таблиць 3.18–3.19**):

- для соковмісного напою № 1:

$$Q_{абс.1} = 0,38 \cdot 4,6 + 0,3 \cdot 4,8 + 0,14 \cdot 4,4 + 0,18 \cdot 3,6 = 4,46 \text{ балів};$$

- для соковмісного напою № 2:

$$Q_{абс.2} = 0,38 \cdot 3,8 + 0,3 \cdot 3,8 + 0,14 \cdot 4,8 + 0,18 \cdot 5 = 4,15 \text{ балів}.$$

Напій № 1 має більший показник якості, ніж напій № 2.

### Приклад 3.8

Експертам було запропоновано визначити вагомість груп факторів, які необхідно враховувати під час розроблення харчових продуктів:

економічні фактори, маркетингові фактори, соціальні фактори, технологічні фактори, якісні фактори. Групи факторів експерти оцінювали за десятибальною шкалою (**таблиця 3.20**).

Таблиця 3.20 – Кваліметрична шкала для оцінювання вагомості груп факторів

Бал	Характеристика вагомості групи факторів	Бал	Характеристика вагомості групи факторів
1	відсутня	6	помірна
2	дуже незначна	7	значна
3	незначна	8	дуже значна
4	дуже слабка	9	сильна
5	слабка	10	дуже сильна

Результати оцінювання вагомості груп факторів подані в **таблиці 3.21**.

Таблиця 3.21 – Результати оцінювання вагомості груп факторів

Група факторів	Експерти					$\bar{a}_i$	V, %
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5		
Економічні фактори	9	10	8	9	9	9,0	7,9
Маркетингові фактори	6	6	5	4	5	5,2	16,1
Соціальні фактори	7	7	8	6	7	7,0	10,1
Технологічні фактори	8	8	9	9	9	8,6	6,4
Якісні фактори	10	10	10	9	10	9,8	4,6
Всього						39,6	

Обчислимо коефіцієнти вагомості груп факторів (дані з **таблиці 3.21**):

- група економічних факторів:  $m_{c1} = 9/39,6 = 0,23$ ;
- група маркетингових факторів:  $m_{c2} = 5,2/39,6 = 0,13$ ;
- група соціальних факторів:  $m_{c3} = 7/39,6 = 0,17$ ;
- група технологічних факторів:  $m_{c4} = 8,6/39,6 = 0,22$ ;
- група якісних факторів:  $m_{c5} = 9,8/39,6 = 0,25$ .

Отже, найбільш вагомою групою факторів є якісні фактори, а найменш вагомою групою – маркетингові фактори.

Оскільки коефіцієнти варіації  $V$  оцінок експертів змінюються в межах від 4,6% до 16,1%, то узгодженість їх думок щодо вагомості груп факторів змінюється від вище середньої до високої.

Визначимо узгодженість думок експертів в інший спосіб, замінивши отримані бали рангами. Групі факторів з найбільшими балами від експерта надаємо ранг 1, наступній групі факторів за кількістю балів – ранг 2 і так далі. Результати перетворень подані в **таблиці 3.22**.

Таблиця 3.22 – Результати оцінювання (ранги) вагомості груп факторів

Група факторів	Експерти				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Економічні фактори ( $X_1$ )	2	1, 2	3, 4	1, 2, 3	2, 3
Маркетингові фактори ( $X_2$ )	5	5	5	5	5
Соціальні фактори ( $X_3$ )	4	4	3, 4	4	4
Технологічні фактори ( $X_4$ )	3	3	2	1, 2, 3	2, 3
Якісні фактори ( $X_5$ )	1	1, 2	1	1, 2, 3	1

У **таблиці 3.22** є зв'язані (однакові) ранги. Ураховуючи розподіл рангів між зв'язаними групами факторів, сформуємо нормальну матрицю ранжування (**таблиця 3.23**), в якій сума рангів усіх рядків дорівнює 15.

Таблиця 3.23 – Нормальна матриця ранжування

Експерти ( $j$ )	Фактори ( $k=5$ )					Сума рангів	$R_j$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$		
№ 1	2	5	4	3	1	15	–
№ 2	1,5	5	4	3	1,5	15	6
№ 3	3,5	5	3,5	2	1	15	6
№ 4	2	5	4	2	2	15	24
№ 5	2,5	5	4	2,5	1	15	6
$t_i$	11,5	25	19,5	12,5	6,5	75	$\sum_{j=1}^l R_j = 51$
$\Delta_i$	-3,5	10	4,5	-2,5	-8,5		
$\Delta_i^2$	12,25	100	20,25	6,25	72,25		

У експерта № 2 кількість груп рангів, які повторюються,  $L=1$  (двічі повторюється ранг 1,5). Відповідно, у відповідях експерта № 2 кількість повторень в цій групі рангів  $a_{21}=2$ , тому за виразом (3.6):  $R_2=(2^3-2)=6$ .

У експерта № 3 кількість груп рангів, які повторюються,  $L=1$  (двічі повторюється ранг 3,5). Відповідно, у відповідях експерта № 3 кількість повторень в цій групі рангів  $a_{31}=2$ , тому за виразом (3.6):  $R_3=(2^3-2)=6$ .

У експерта № 4 кількість груп рангів, які повторюються,  $L=1$  (тричі повторюється ранг 2). Відповідно, у відповідях експерта № 4 кількість повторень в цій групі рангів  $a_{41}=3$ , тому за виразом (3.6):  $R_4=(3^3-3)=24$ .

У експерта № 5 кількість груп рангів, які повторюються,  $L=1$  (двічі повторюється ранг 2,5). Відповідно, у відповідях експерта № 5 кількість повторень в цій групі рангів  $a_{51}=2$ , тому за виразом (3.6):  $R_5=(2^3-2)=6$ .

Середнє значення суми рангів (значення  $t_i$  беруться з **таблиці 3.23**):

$$T=(11,5+25+19,5+12,5+6,5)/5=15.$$

Сума квадратів відхилень від середньої суми рангів (**таблиця 3.23**):

$$S=12,25+100+20,25+6,25+72,25=211.$$

Оскільки ранги зв'язані, то коефіцієнт конкордації обчислюється за виразом (3.5):

$$W = \frac{12 \cdot 211}{5^2 \cdot (5^3 - 5) - 5 \cdot 51} = 0,92.$$

Отже, думки експертів можна вважати узгодженими.

Статистичний критерій Пірсона ( $\chi^2$ -критерій):

$$\chi^2 = 5 \cdot (5-1) \cdot 0,92 = 18,4.$$

Для рівня значущості  $\alpha=0,05$  та числа ступенів вільності  $f=5-1=4$  виберемо табличне значення критерію  $\chi_m^2=9,49$  (**Додаток А**).

Оскільки  $\chi^2=18,4 > \chi_m^2=9,49$ , то нульова гіпотеза  $H_0$  відхиляється і думки фахівців вважаються узгодженими.

Отже, перевіряння узгодженості думок фахівців щодо вагомості груп факторів за двома способами показала однаковий результат: думки фахівців узгоджені.

### Приклад 3.9

Експерти оцінили вагомість двох груп показників (фізико-хімічні, органолептичні) фруктового формового мармеладу та вагомість показників у межах кожної групи (**таблиця 3.24**). Обчислити комплексні показники якості (середньозважені відносні показники якості) мармеладу трьох виробників та порівняти їх. Значення показників та базові значення показників (відповідно до ДСТУ 4333:2018 [85]) подані в **таблиці 3.25**.

Під час обчислень звернути увагу на те, що чим менші масові частки вологи і редукувальних речовин у мармеладі від базових значень, а також його загальна кислотність, тим краще. Крім того, що більший бал органолептичного показника, то краще. У цьому випадку вираз (3.18) для обчислення комплексного показника якості мармеладу матиме вигляд:

$$Q_{\text{від.}} = m_{c1} \left( m_{c11} \frac{P_{11}}{P_{\text{баз.11}}} + m_{c12} \frac{P_{12}}{P_{\text{баз.12}}} + m_{c13} \frac{P_{13}}{P_{\text{баз.13}}} + m_{c14} \frac{P_{14}}{P_{\text{баз.14}}} \right) + m_{c2} \left( m_{c21} \frac{P_{\text{баз.21}}}{P_{21}} + m_{c22} \frac{P_{\text{баз.22}}}{P_{22}} + m_{c23} \frac{P_{\text{баз.23}}}{P_{23}} \right).$$

Таблиця 3.24 – Коефіцієнти вагомості груп показників мармеладу

Група показників	Коефіцієнт вагомості групи показників	Показники	Коефіцієнт вагомості показника в групі
Органолептичні показники	$m_{c1}=0,6$	смак, запах та колір	$m_{c11}=0,35$
		консистенція	$m_{c12}=0,26$
		форма	$m_{c13}=0,18$
		поверхня	$m_{c14}=0,21$
Фізико-хімічні показники	$m_{c2}=0,4$	масова частка вологи	$m_{c21}=0,35$
		масова частка редукувальних речовин	$m_{c22}=0,35$
		загальна кислотність	$m_{c23}=0,30$

Таблиця 3.25 – Органолептичні та фізико-хімічні показники мармеладу

Найменування показника	Значення показника мармеладу різних виробників			Базове значення показника
	виробник № 1	виробник № 2	виробник № 3	
1	2	3	4	5
Смак, запах та колір	$P_{11}=4,3$	$P_{11}=5,0$	$P_{11}=3,7$	$P_{\text{баз.11}}=5,0$
Консистенція	$P_{12}=4,5$	$P_{12}=4,8$	$P_{12}=4,6$	$P_{\text{баз.12}}=5,0$

Закінчення таблиці 3.25

1	2	3	4	5
Форма	$P_{13}=4,0$	$P_{13}=4,4$	$P_{13}=5,0$	$P_{\text{баз.13}}=5,0$
Поверхня	$P_{14}=4,3$	$P_{14}=4,5$	$P_{14}=4,1$	$P_{\text{баз.14}}=5,0$
Масова частка вологи, %	$P_{21}=18$	$P_{21}=25$	$P_{21}=23$	$P_{\text{баз.21}}=24$
Масова частка редукувальних речовин, %	$P_{22}=25$	$P_{22}=23$	$P_{22}=27$	$P_{\text{баз.22}}=28$
Загальна кислотність, град.	$P_{23}=21,3$	$P_{23}=17,6$	$P_{23}=19,4$	$P_{\text{баз.23}}=22,5$

Підставимо значення із **таблиць 3.24–3.25** в отриманий вираз для обчислення комплексного показника якості мармеладу за двома групами показників (органолептичні та фізико-хімічні):

- для мармеладу виробника № 1:

$$Q_{\text{від.}} = 0,6 \cdot \left( 0,35 \cdot \frac{4,3}{5} + 0,26 \cdot \frac{4,5}{5} + 0,18 \cdot \frac{4}{5} + 0,21 \cdot \frac{4,3}{5} \right) + 0,4 \cdot \left( 0,35 \cdot \frac{24}{18} + 0,35 \cdot \frac{28}{25} + 0,3 \cdot \frac{22,5}{21,3} \right) = 0,99;$$

- для мармеладу виробника № 2:

$$Q_{\text{від.}} = 0,6 \cdot \left( 0,35 \cdot \frac{5}{5} + 0,26 \cdot \frac{4,8}{5} + 0,18 \cdot \frac{4,4}{5} + 0,21 \cdot \frac{4,5}{5} \right) + 0,4 \cdot \left( 0,35 \cdot \frac{24}{25} + 0,35 \cdot \frac{28}{23} + 0,3 \cdot \frac{22,5}{17,6} \right) = 1,03;$$

- для мармеладу виробника № 3:

$$Q_{\text{від.}} = 0,6 \cdot \left( 0,35 \cdot \frac{3,7}{5} + 0,26 \cdot \frac{4,6}{5} + 0,18 \cdot \frac{5}{5} + 0,21 \cdot \frac{4,1}{5} \right) + 0,4 \cdot \left( 0,35 \cdot \frac{24}{23} + 0,35 \cdot \frac{28}{27} + 0,3 \cdot \frac{22,5}{19,4} \right) = 0,94.$$

Отже, мармелад виробника № 2 має найвище значення комплексного показника якості  $Q_{від.} = 1,03$ , а мармелад виробника № 3 – найменше значення комплексного показника якості  $Q_{від.} = 0,94$ .

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.5.** Проведене визначення фізико-хімічних показників двох модельних композицій морозива вершкового з фруктовими наповнювачами (*таблиця 3.26*). Базові значення показників відповідають вимогам і нормам ДСТУ 4735:2007 [86]: масова частка сухих речовин  $P_{баз.1} = 32\%$ ; масова частка загального жиру  $P_{баз.2} = 10\%$ ; кислотність  $P_{баз.3} = 80$  °Т; масова частка загальних цукрів  $P_{баз.4} = 14\%$ . Коефіцієнти вагомості фізико-хімічних показників морозива: масова частка сухих речовин  $m_{c1} = 0,25$ ; масова частка загального жиру  $m_{c2} = 0,3$ ; кислотність  $m_{c3} = 0,20$ ; масова частка загальних цукрів  $m_{c3} = 0,25$ . Визначити середньозважені відносні показники якості двох модельних композицій морозива вершкового з фруктовими наповнювачами та порівняти їх. Під час обчислення показників звернути увагу на те, що чим менші масова частка загального жиру та кислотність, тим краще. А також на те, що чим більші масові частки сухих речовин та загальних цукрів у модельних композиціях морозива, то краще.

*Таблиця 3.26* – Фізико-хімічні показники модельних композицій морозива вершкового з фруктовими наповнювачами

Модельні композиції морозива (МКМ)	Масова частка сухих речовин $P_1$ , %	Масова частка загального жиру $P_2$ , %	Кислотність, $P_3$ , °Т	Масова частка загальних цукрів $P_4$ , %
МКМ № 1	28,3	8,5	76	15,6
МКМ № 2	34,5	9,3	70	14,2

**Завдання 3.6.** За п'ятибальною шкалою проведено експертне оцінювання органолептичних показників п'яти модельних композицій морозива із різними харчосмаковими продуктами (*таблиця 3.27*). Коефіцієнти вагомості органолептичних показників морозива: зовнішній вигляд  $m_{c1} = 0,28$ ; колір  $m_{c2} = 0,12$ ; структура та консистенція  $m_{c3} = 0,32$ ; смак та аромат  $m_{c4} = 0,28$ . Визначити середньозважені абсолютні показники якості модельних композицій морозива та порівняти їх.

*Таблиця 3.27* – Результати оцінювання органолептичних показників морозива із різними харчосмаковими продуктами

Модельна композиція морозива	Середнє значення оцінки показника в балах ( $P_i$ )			
	зовнішній вигляд	колір	структура та консистенція	смак та аромат
Морозиво з мармеладом	5,0	4,1	4,9	4,7
Морозиво з арахісом	4,2	3,8	4,0	4,3
Морозиво з шоколадом	4,7	4,6	5,0	4,4
Морозиво з джемом	3,9	4,0	3,7	4,2
Морозиво з цукатами	4,5	4,4	5,0	4,6

**Завдання 3.7.** Проведене експертне оцінювання органолептичних показників (колір, поверхня, форма, смак і запах, стан виробів після варіння) та визначення фізико-хімічних показників (вологість, кислотність, міцність, масова частка деформованих виробів, масова частка крихти) стрічкоподібних довгих макаронних виробів із борошна твердої пшениці (група А, клас «екстра») трьох виробників. Базові значення фізико-хімічних показників макаронних виробів відповідають вимогам і нормам ДСТУ 7043:2009 [87], а органолептичних показників – становлять 5 балів (*таблиці 3.28*). Також експерти оцінили вагомість органолептичних та фізико-хімічних показників макаронних виробів (*таблиця 3.29*).

Під час обчислень звернути увагу на те, що чим менші вологість, кислотність та масові частки деформованих макаронних виробів і крихти від базових значень, тим краще. Крім того, чим більші бали органолептичних показників та міцність макаронних виробів від базових значень показників, тим краще. Визначити середньозважені відносні показники якості (комплексні показники якості) стрічкоподібних довгих макаронних виробів із борошна твердої пшениці трьох виробників та порівняти їх.

**Завдання 3.8.** Експертам було запропоновано оцінити вагомість органолептичних показників (зовнішній вигляд, колір на розрізі, запах, консистенція, смак, соковитість) пельменів м'ясних ручного ліплення. Під час оцінювання вагомості показників найменш значущому показнику присвоювався ранг 1, а найбільш значущому – ранг 6 (зворотне ранжування шести показників). Результати оцінювання вагомості органолептичних показників подані в *таблиці 3.30*. Обчислити коефіцієнти вагомості показників та перевірити узгодженість думок експертів.

Таблиця 3.28 – Органолептичні та фізико-хімічні показники стрічкоподібних довгих макаронних виробів

Найменування показника	Значення показників макаронних виробів різних виробників			Базове значення показника
	виробник № 1	виробник № 2	виробник № 3	
Колір виробів	$P_{11}=3,9$	$P_{11}=3,9$	$P_{11}=5,0$	$P_{баз.11}=5,0$
Поверхня виробів	$P_{12}=4,6$	$P_{12}=4,0$	$P_{12}=4,7$	$P_{баз.12}=5,0$
Форма виробів	$P_{13}=4,3$	$P_{13}=4,1$	$P_{13}=4,5$	$P_{баз.13}=5,0$
Смак і запах виробів	$P_{14}=4,1$	$P_{14}=3,7$	$P_{14}=4,8$	$P_{баз.14}=5,0$
Стан виробів після варіння	$P_{15}=4,0$	$P_{15}=3,5$	$P_{15}=4,5$	$P_{баз.15}=5,0$
Вологість виробів, %	$P_{21}=11,3$	$P_{21}=11,8$	$P_{21}=10,8$	$P_{баз.21}=12,0$
Кислотність виробів, град.	$P_{22}=3,9$	$P_{22}=3,7$	$P_{22}=3,8$	$P_{баз.22}=4,0$
Міцність, Н	$P_{23}=0,8$	$P_{23}=1,0$	$P_{23}=1,4$	$P_{баз.23}=1,2$
Масова частка деформованих виробів, %	$P_{24}=1,4$	$P_{24}=1,6$	$P_{24}=0,8$	$P_{баз.24}=1,5$
Масова частка крихти, %	$P_{25}=0,7$	$P_{25}=0,6$	$P_{25}=0,4$	$P_{баз.25}=1,0$

Таблиця 3.29 – Коефіцієнти вагомості груп показників та показників макаронних виробів

Група показників	Коефіцієнт вагомості групи показників	Показники	Коефіцієнт вагомості показника в групі
1	2	3	4
Органолептичні показники	$m_{c1}=0,55$	колір	$m_{c11}=0,08$
		поверхня	$m_{c12}=0,19$
		форма	$m_{c13}=0,20$
		смак і запах	$m_{c14}=0,22$
		стан виробів після варіння	$m_{c15}=0,31$

Закінчення таблиці 3.29

1	2	3	4
Фізико-хімічні показники	$m_{c2}=0,45$	вологість	$m_{c21}=0,27$
		кислотність	$m_{c22}=0,20$
		міцність	$m_{c23}=0,29$
		масова частка деформованих виробів	$m_{c24}=0,14$
		масова частка крихти	$m_{c25}=0,10$

**Завдання 3.9.** Експертам було запропоновано оцінити вагомість фізико-хімічних показників печива цукрового з пшеничного борошна. Показники печива (вологість, масова частка загального цукру, масова частка жиру, лужність, намочуваність) оцінювалися за десятибальною шкалою. Результати оцінювання вагомості фізико-хімічних показників печива подані в **таблиці 3.31**. Обчислити коефіцієнти вагомості фізико-хімічних показників печива та перевірити узгодженість думок експертів двома способами: за коефіцієнтом конкордації (замінивши отримані бали рангами) та за коефіцієнтом варіації. Порівняти отримані результати визначення узгодженості думок експертів двома способами.

Таблиця 3.30 – Результати оцінювання вагомості органолептичних показників пельменів м'ясних ручного ліплення

Показник	Експерти							
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Зовнішній вигляд	5	6	5	5	5	6	6	5
Колір на розрізі	1	1	2	1	1	2	2	1
Запах	4	4	4	4	4	4	3	4
Консистенція	2	2	1	2	2	1	1	3
Смак	6	5	6	6	6	5	5	6
Соковитість	3	3	3	3	3	3	4	2

Таблиця 3.31 – Результати оцінювання вагомості фізико-хімічних показників печива цукрового з пшеничного борошна

Показник	Експерти						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Вологість	10	8	8	8	9	10	9
Масова частка загального цукру	7	6	8	7	7	7	7
Масова частка жиру	8	8	8	8	8	8	8
Лужність	5	5	5	5	5	5	5
Намочуваність	6	6	6	7	6	6	6

**Завдання 3.10.** Експерти оцінили вагомість фізико-хімічних показників фаршу яловичого (таблиця 3.32). Під час оцінювання вагомості показників найменш значущому показнику присвоювався ранг 1, а найбільш значущому – ранг 2 (зворотне ранжування шести показників). Обчислити коефіцієнти вагомості показників та перевірити узгодженість думок експертів.

Таблиця 3.32 – Результати оцінювання вагомості фізико-хімічних показників фаршу яловичого

Фізико-хімічний показник фаршу яловичого	Експерти						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Масова частка вологи	2	1	2	1	2	2	2
Масова частка жиру	1	2	1	2	1	1	1

### 3.3 ПОБУДОВА «ДЕРЕВА ВЛАСТИВОСТЕЙ»

**Властивість харчового продукту** – це об’єктивна особливість продукту, що проявляється під час його створення, оцінювання, зберігання та споживання. Властивості харчових продуктів можуть бути простими та складними.

**Проста властивість харчового продукту** – це властивість, що характеризується однією особливістю.

#### Приклад 3.10

Жирність соусу – це проста властивість соусу.

**Складна властивість харчового продукту** – це комплекс особливостей, які проявляються в сукупності (може містити менш складні або прості властивості).

#### Приклад 3.11

Харчова цінність продукту – це складна властивість продукту, що містить комплекс властивостей: біологічну цінність, енергетичну цінність, засвоюваність тощо.

Кількісне та якісне вираження властивостей харчового продукту відбувається через **показники**, які можуть бути фізичними або нефізичними величинами.

Одним із способів систематизації властивостей харчового продукту або будь-якого об’єкта досліджень є побудова «дерева властивостей» цього об’єкта досліджень.

«**Дерево властивостей**» – це графічне зображення багаторівневої ієрархічної структури властивостей, які характеризують об’єкт, що досліджується (рис. 3.4).

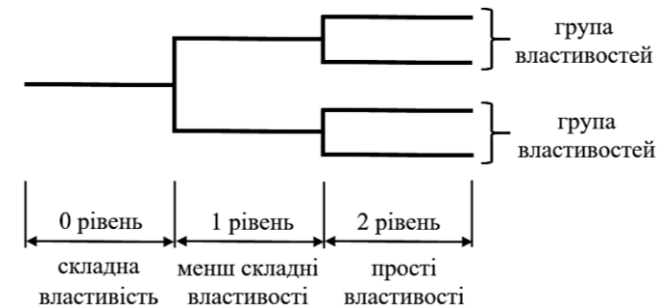


Рисунок 3.4 – Структура «дерева властивостей»

Для зручності «дерево властивостей» зображують зліва направо. Рівні дерева (ділянки дерева) нумеруються зліва направо, починаючи з нульового рівня.

#### Етапи побудови «дерева властивостей»:

- визначення списку складних та простих властивостей, які характеризують об’єкт дослідження;

- систематизація властивостей об'єкта досліджень у списку;
- видалення властивостей, які дублюються;
- побудова багаторівневої ієрархічної діаграми – «дерева властивостей» об'єкта дослідження.

#### Основні правила побудови «дерева властивостей»:

• властивість нульового рівня є узагальненою властивістю об'єкта досліджень, що характеризується узагальненим, комплексним чи інтегральним показником;

• «дерево властивостей» має містити всі виявлені властивості об'єкта досліджень; однак, кількість властивостей в кожній групі і на будь-якому рівні приймають не більше 12, оскільки коефіцієнти вагомості деяких властивостей можуть бути незначними настільки, що їх впливом можна знехтувати;

• на останньому рівні «дерева властивостей» мають розташовуватися прості властивості, які вимірюються безпосередньо інструментальними методами аналізу або оцінюються експертними методами;

• властивості в кожній групі повинні мати загальну основу для їх об'єднання в групи (прості властивості мають розкривати складні властивості);

• у групі властивостей їх розташування повинно мати випадковий характер;

• у групі властивостей мають бути лише ті властивості, які одночасно може мати об'єкт дослідження.

«Дерево властивостей» використовується для визначення комплексного показника якості харчового продукту. Для цього розробляється кваліметрична модель якості харчового продукту, що містить «дерево властивостей», коефіцієнти вагомості властивостей та вираз для обчислення комплексного показника якості.

#### Приклад 3.12

На *рис. 3.5* продемонстровано «дерево властивостей» глазурованої шоколадом соняшникової халви з коефіцієнтами вагомості властивостей.

Базові значення показників глазурованої шоколадом соняшникової халви згідно з ДСТУ 4188:2003 [88] та значення показників двох зразків халви, що досліджуються, подані в *таблиці 3.33*.

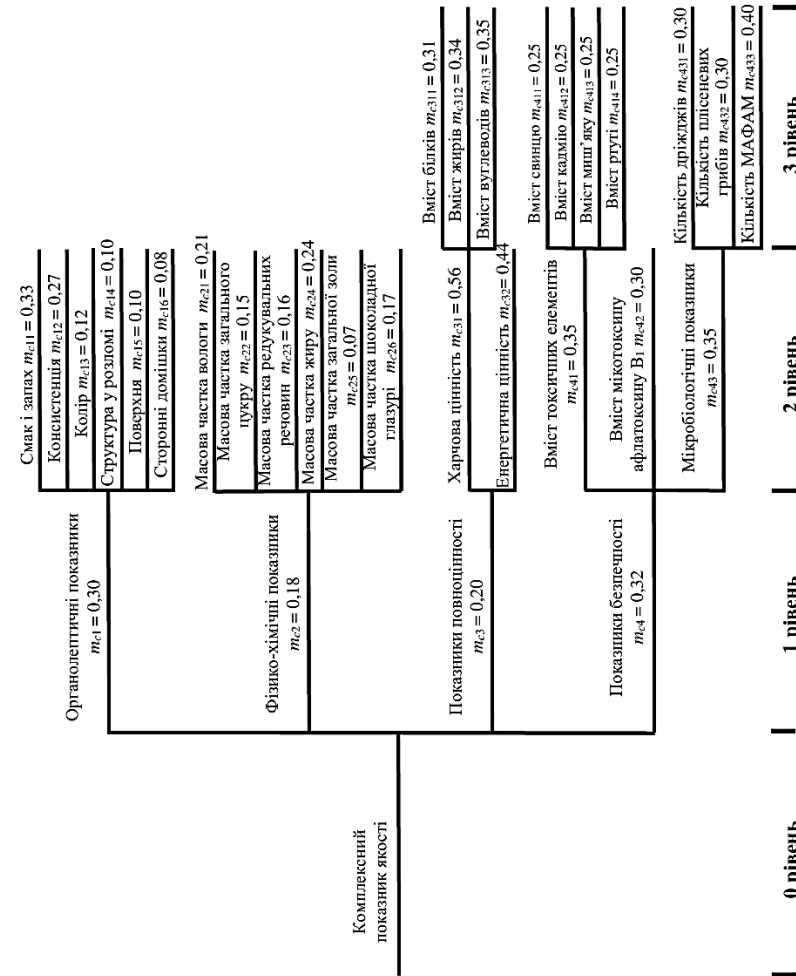


Рисунок 3.5 – «Дерево властивостей» глазурованої соняшникової халви

Таблиця 3.33 – Базові показники та значення показників двох зразків халви

Найменування показника	Значення показників халви		Базове значення показників
	зразок № 1	зразок № 2	
Смак і запах	$P_{11}=4,1$	$P_{11}=4,8$	$P_{баз.11}=5$
Консистенція	$P_{12}=4,0$	$P_{12}=4,2$	$P_{баз.12}=5$
Колір	$P_{13}=4,4$	$P_{13}=4,5$	$P_{баз.13}=5$
Структура у розломі	$P_{14}=4,8$	$P_{14}=4,9$	$P_{баз.14}=5$
Поверхня	$P_{15}=3,8$	$P_{15}=4,6$	$P_{баз.15}=5$
Сторонні домішки	$P_{16}=3,5$	$P_{16}=4,7$	$P_{баз.16}=5$
Масова частка вологи, %	$P_{21}=3,6$	$P_{21}=2,1$	$P_{баз.21}=4$
Масова частка загального цукру, %	$P_{22}=32,6$	$P_{22}=38,6$	$P_{баз.22}=45$
Масова частка редуковальних речовин, %	$P_{23}=16,3$	$P_{23}=18,2$	$P_{баз.23}=20$
Масова частка жиру, %	$P_{24}=32,7$	$P_{24}=31,6$	$P_{баз.24}=34$
Масова частка загальної золи, %	$P_{25}=1,8$	$P_{25}=1,9$	$P_{баз.25}=2$
Масова частка глазури, %	$P_{26}=6,8$	$P_{26}=6,5$	$P_{баз.26}=8$
Вміст білків, %	$P_{311}=14,6$	$P_{311}=12,4$	$P_{баз.311}=13,5$
Вміст жирів, %	$P_{312}=38,8$	$P_{312}=38,8$	$P_{баз.312}=38,8$
Вміст вуглеводів, %	$P_{313}=40,6$	$P_{313}=40,6$	$P_{баз.313}=40,6$
Енергетична цінність, ккал/100 г	$P_{32}=570$	$P_{32}=560$	$P_{баз.32}=566$
Вміст свинцю, мг/кг	$P_{411}=0,1$	$P_{411}=0,1$	$P_{баз.411}=1$
Вміст кадмію, мг/кг	$P_{412}=0,01$	$P_{412}=0,01$	$P_{баз.412}=0,1$
Вміст миш'яку, мг/кг	$P_{413}=0,03$	$P_{413}=0,03$	$P_{баз.413}=0,5$
Вміст ртуті, мг/кг	$P_{414}=0,002$	$P_{414}=0,002$	$P_{баз.414}=0,01$
Вміст мікотоксину, мг/кг	$P_{42}=0,001$	$P_{42}=0,001$	$P_{баз.42}=0,005$
Дріжджі, КУО в 1 г	$P_{431}=1 \cdot 10$	$P_{431}=1 \cdot 10$	$P_{баз.431}=5 \cdot 10$
Плісеневі гриби, КУО в 1 г	$P_{432}=1 \cdot 10$	$P_{432}=1 \cdot 10$	$P_{баз.432}=5 \cdot 10$
МАФАМ, КУО в 1 г	$P_{433}=0,1 \cdot 10^4$	$P_{433}=0,1 \cdot 10^4$	$P_{баз.433}=1 \cdot 10^4$

Під час обчислення комплексного показника якості зразків халви врахуємо, що чим більші бали органолептичних показників халви та вміст білків у халві від базових значень показників, тим краще. Що менші всі інші показники халви від базових значень, то краще.

Складемо кваліметричну модель для визначення комплексних показників якості зразків халви з урахуванням «дерева властивостей» глазурованої соняшникової халви (рис. 3.5):

$$Q_{від.} = m_{c1} \left[ \frac{m_{c11} P_{11}}{P_{баз.11}} + \frac{m_{c12} P_{12}}{P_{баз.12}} + \frac{m_{c13} P_{13}}{P_{баз.13}} + \frac{m_{c14} P_{14}}{P_{баз.14}} + \frac{m_{c15} P_{15}}{P_{баз.15}} + \frac{m_{c16} P_{16}}{P_{баз.16}} \right] +$$

$$+ m_{c2} \left[ \frac{m_{c21} P_{баз.21}}{P_{21}} + \frac{m_{c22} P_{баз.22}}{P_{22}} + \frac{m_{c23} P_{баз.23}}{P_{23}} + \frac{m_{c24} P_{баз.24}}{P_{24}} + \frac{m_{c25} P_{баз.25}}{P_{25}} + \frac{m_{c26} P_{баз.26}}{P_{26}} \right] +$$

$$+ m_{c3} \left[ m_{c31} \left( \frac{m_{c311} P_{311}}{P_{баз.311}} + \frac{m_{c312} P_{баз.312}}{P_{312}} + \frac{m_{c313} P_{баз.313}}{P_{313}} \right) + m_{c32} \frac{P_{баз.32}}{P_{32}} \right] +$$

$$+ m_{c4} \left[ m_{c41} \left( \frac{m_{c411} P_{баз.411}}{P_{411}} + \frac{m_{c412} P_{баз.412}}{P_{412}} + \frac{m_{c413} P_{баз.413}}{P_{413}} + \frac{m_{c414} P_{баз.414}}{P_{414}} \right) + \right.$$

$$\left. + m_{c42} \frac{P_{баз.42}}{P_{42}} + m_{c43} \left( \frac{m_{c431} P_{баз.431}}{P_{431}} + \frac{m_{c432} P_{баз.432}}{P_{432}} + \frac{m_{c433} P_{баз.433}}{P_{433}} \right) \right].$$

У результаті обчислень визначено, що комплексний показник якості зразка № 1 халви –  $Q_{від.} = 3,09$ , а зразка № 2 –  $Q_{від.} = 3,14$ . Отже, зразок № 2 халви є кращим, ніж зразок № 1.

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.11.** Ознайомитися з списком показників, що характеризують властивості цукерок карамельних з начинкою в обгортці, згрупувати та систематизувати їх, а також побудувати «дерево властивостей». Список показників цукерок карамельних з начинкою в обгортці: форма цукерок; колір цукерок; показники продукту; вміст жирів; фізико-хімічні показники; показники пакування; показники повноцінності; можливість перероблення пакування; комплексний показник якості цукерок карамельних; вміст білків; органолептичні показники; стан поверхні цукерок; запах та смак цукерок; масова частка вологи; консистенція; масова частка золи; енергетична цінність; однорідність начинки; вміст вуглеводів; масова частка редуковальних речовин; харчова цінність; кислотність; масова частка начинки; матеріал пакування; яскравість оформлення пакування.

**Завдання 3.12.** На рис. 3.6 продемонстровано «дерево властивостей» соусу салатного з коефіцієнтами вагомості властивостей.

Органолептичні показники $m_{41} = 0,30$	Зовнішній вигляд	консистенція $m_{411} = 0,38$
	Смак і запах	$m_{412} = 0,42$
Фізико-хімічні показники $m_{42} = 0,15$	Колір	$m_{413} = 0,20$
	Масова частка жиру	$m_{421} = 0,30$
	Масова частка вологи	$m_{422} = 0,23$
	Кислотність	$m_{423} = 0,20$
Масова частка солі	$m_{424} = 0,15$	
	pH	$m_{425} = 0,10$
Показники поживності $m_{43} = 0,20$	Харчова цінність	$m_{431} = 0,28$
	Калорійність	$m_{432} = 0,28$
Комплексний показник якості	Вітамін В <sub>1</sub>	$m_{433} = 0,25$
	Вітамін В <sub>2</sub>	$m_{434} = 0,25$
	Вітамін В <sub>6</sub>	$m_{435} = 0,25$
	Вітамін С	$m_{436} = 0,25$
Мінеральні речовини $m_{44} = 0,22$	Вміст кальцію	$m_{441} = 0,33$
	Вміст фосфору	$m_{442} = 0,33$
Токсичні елементи $m_{45} = 0,20$	Вміст ртуті	$m_{451} = 0,34$
	Вміст миш'яку	$m_{452} = 0,33$
Показники безпечності $m_{46} = 0,35$	Мікотоксини	$m_{461} = 0,20$
	Пестициди	$m_{462} = 0,15$
	Радіонукліди	$m_{463} = 0,25$
	Мікробіологічні показники	$m_{464} = 0,20$

Рисунок 3.6 – «Дерево властивостей» соусу салатного

Базові значення показників соусів салатних згідно з ДСТУ 4561:2006 [59] та значення показників двох зразків соусів, що досліджуються, подані в **таблиці 3.34**.

Таблиця 3.34 – Базові показники та значення показників двох зразків соусів

Найменування показника	Значення показників		Базове значення показників
	зразок № 1	зразок № 2	
Зовнішній вигляд, консистенція	$P_{11}=4,9$	$P_{11}=4,7$	$P_{баз.11}=5$
Смак і запах	$P_{12}=4,6$	$P_{12}=4,8$	$P_{баз.12}=5$
Колір	$P_{13}=5,0$	$P_{13}=4,7$	$P_{баз.13}=5$
Масова частка жиру, %	$P_{21}=44,3$	$P_{21}=47,8$	$P_{баз.21}=50$
Масова частка вологи, %	$P_{22}=34,2$	$P_{22}=30,7$	$P_{баз.22}=40$
Кислотність, %	$P_{23}=0,7$	$P_{23}=0,8$	$P_{баз.23}=0,9$
Масова частка солі, %	$P_{24}=1,6$	$P_{24}=1,4$	$P_{баз.24}=2,0$
pH	$P_{25}=4,1$	$P_{25}=4,3$	$P_{баз.25}=4,7$
Вміст білків, %	$P_{311}=2,4$	$P_{311}=2,6$	$P_{баз.311}=5,0$
Вміст жирів, %	$P_{312}=44,3$	$P_{312}=47,8$	$P_{баз.312}=50$
Вміст вуглеводів, %	$P_{313}=4,5$	$P_{313}=4,1$	$P_{баз.313}=5,0$
Калорійність, ккал/100 г	$P_{32}=425,2$	$P_{32}=456,0$	$P_{баз.32}=450$
Вміст вітаміну В <sub>1</sub> , мг/100 г	$P_{331}=0,01$	$P_{331}=0,02$	$P_{баз.331}=0,1$
Вміст вітаміну В <sub>2</sub> , мг/100 г	$P_{332}=0,05$	$P_{332}=0,05$	$P_{баз.332}=0,1$
Вміст вітаміну В <sub>6</sub> , мг/100 г	$P_{333}=0,02$	$P_{333}=0,03$	$P_{баз.333}=0,1$
Вміст вітаміну С, мг/100 г	$P_{334}=0,02$	$P_{334}=0,05$	$P_{баз.334}=0,1$
Вміст кальцію, мг/100 г	$P_{341}=41$	$P_{341}=44$	$P_{баз.341}=50$
Вміст фосфору, мг/100 г	$P_{342}=90$	$P_{342}=86$	$P_{баз.342}=100$
Вміст заліза, мг/100 г	$P_{343}=1,7$	$P_{343}=2,1$	$P_{баз.343}=2,5$
Вміст ртуті, мг/кг	$P_{411}=0,001$	$P_{411}=0,001$	$P_{баз.411}=0,03$
Вміст миш'яку, мг/кг	$P_{412}=0,01$	$P_{412}=0,02$	$P_{баз.412}=0,1$
Вміст свинцю, мг/кг	$P_{413}=0,01$	$P_{413}=0,02$	$P_{баз.413}=0,1$
Вміст афлатоксину В <sub>1</sub> , мг/кг	$P_{421}=0,001$	$P_{421}=0,001$	$P_{баз.421}=0,005$
Вміст зеараленону, мг/кг	$P_{422}=0,1$	$P_{422}=0,2$	$P_{баз.422}=1,0$
Вміст ГХЦГ гамма-ізомер, мг/кг	$P_{431}=0,02$	$P_{431}=0,01$	$P_{баз.431}=0,05$
Вміст ДДТ, мг/кг	$P_{432}=0,01$	$P_{432}=0,02$	$P_{баз.432}=0,1$
Вміст <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	$P_{441}=5$	$P_{441}=4$	$P_{баз.441}=100$
Вміст <sup>90</sup> Sr, Бк/кг	$P_{442}=6$	$P_{442}=7$	$P_{баз.442}=30$
Вміст дріжджів, КУО в 1 см <sup>3</sup>	$P_{451}=0,1 \cdot 10^3$	$P_{451}=0,2 \cdot 10^3$	$P_{баз.451}=1 \cdot 10^3$
Вміст пліснявих грибів, КУО в 1 см <sup>3</sup>	$P_{452}=0,1 \cdot 10$	$P_{452}=0,2 \cdot 10$	$P_{баз.452}=1 \cdot 10$

Скласти кваліметричну модель для визначення комплексних показників якості зразків соусу з урахуванням «дерева властивостей» соусу салатного. Під час обчислення комплексного показника якості зразків соусу салатного необхідно врахувати:

- чим більші бали органолептичних показників соусу, тим краще;
- чим менші значення фізико-хімічних показників соусу, тим краще;
- чим більше значення вмісту білків та вуглеводів у соусі, тим краще;
- чим менше значення вмісту жиру в соусі, тим краще;
- чим менша калорійність соусу, тим краще;
- чим більше значення вмісту вітамінів і мінеральних речовин у соусі, тим краще;
- чим менше значення вмісту токсичних елементів, мікотоксинів, пестицидів, радіонуклідів, дріжджів та пліснявих грибів у соусі, тим краще.

**Завдання 3.13.** Ознайомитися з списком показників, що характеризують властивості макаронних виробів згідно з ДСТУ 7043:2009 [87], та їх коефіцієнтами вагомості. Побудувати «дерево властивостей» макаронних виробів із зазначенням коефіцієнтів вагомості та кваліметричну модель для визначення комплексного показника якості макаронних виробів у загальному вигляді. Список показників макаронних виробів та їх коефіцієнтів вагомості (значення в дужках):

- органолептичні показники (0,35) (колір (0,1), поверхня (0,1), форма (0,2), смак і запах (0,2), стан виробів після варіння (0,4));
- фізико-хімічні показники (0,25) (вологість (0,2), кислотність (0,1), міцність (0,2), масова частка лому (0,15), масова частка деформованих виробів (0,15), масова частка крихти (0,1), вміст металомагнітних домішок у виробках (0,1));
- показники безпечності (0,4):
  - 1) токсичні елементи (вміст свинцю (0,15), кадмію (0,15), миш'яку (0,2), ртуті (0,2), міді (0,15), цинку (0,15));
  - 2) мікотоксини (афлатоксин В<sub>1</sub> (0,3), Т-2 токсин (0,2), зеараленон (0,25), дезоксиніваленол (0,25));
  - 3) радіонукліди (цезій-137 (0,5), стронцій-90 (0,5)).

### 3.4 МЕТОД МОЗКОВОГО ШТУРМУ ТА SWOT-АНАЛІЗ

**Мозковий штурм** – це оперативний метод пошуку нових ідей для розв'язання визначеної проблеми. Для проведення мозкового штурму відбирається група осіб (різної кваліфікації та досвіду) в кількості 6–12 осіб, яка поділяється на дві підгрупи: перша підгрупа генерує ідеї, а друга – їх аналізує. Кожен з учасників першої підгрупи оголошує свої ідеї, інші записують свої думки щодо ідей на картках. Ідеї має бути якомога більше. Учасникам забороняється критикувати ідеї. Необхідно обов'язково записувати обговорення, щоб не упустити ідею. Усі картки з ідеями і думками учасників штурму збирають та аналізують учасники другої підгрупи. Перспективною вважається ідея, з якою погодяться більшість учасників обговорення.

У приміщенні, де проводиться мозковий штурм, рекомендується розмістити плакат з основними правилами його проведення та встановити дошку, яку учасники можуть використовувати для відображення своїх ідей. Рекомендована тривалість проведення мозкового штурму 40–60 хв. На початку обговорення лідер інформує всіх учасників щодо правил мозкового штурму, впродовж обговорення він контролює дотриманням правил, а також контролює дискусію, щоб вона залишалася в межах визначеної теми. Оцінювання ідей має проходити за визначеними наперед критеріями (наприклад, актуальність, можливість практичної реалізації, новизна тощо).

Метод мозкового штурму покладено в основу SWOT-аналізу. **SWOT-аналіз** – це метод стратегічного планування, що допомагає визначити сильні і слабкі сторони об'єкта досліджень, зовнішні можливості та загрози для нього.

SWOT розшифровується як:

- **S** (Strengths) – це сильні сторони (переваги) об'єкта досліджень порівняно з подібними об'єктами;
- **W** (Weaknesses) – це слабкі сторони (недоліки) об'єкта, що досліджується, порівняно з подібними об'єктами;
- **O** (Opportunities) – це зовнішні можливості, які можуть бути використані для удосконалення чи розвитку об'єкта досліджень;
- **T** (Threats) – це зовнішні загрози, які можуть зашкодити об'єкту досліджень.

Сильні *S* та слабкі *W* сторони об'єкта є внутрішніми факторами, а можливості *O* та загрози *T* – зовнішніми факторами.

### Етапи SWOT-аналізу:

- визначення сильних  $S$  і слабких  $W$  сторін об'єкта дослідження, зовнішніх можливостей  $O$  та загроз  $T$  для нього; за результатами етапу формується SWOT-матриця (**таблиця 3.35**);

- формування стратегій удосконалення чи розвитку об'єкта досліджень шляхом перебирання всіх комбінацій зовнішніх та внутрішніх факторів; за результатами етапу формується зведена матриця SWOT-аналізу (**таблиця 3.36**), яка містить всі можливі комбінації дій (стратегії)  $S-O$ ,  $S-T$ ,  $W-O$  та  $W-T$ :

**$S-O$  дії** – це стратегії, які використовують сильні сторони об'єкта досліджень для здобування переваг від можливостей;

**$W-O$  дії** – це стратегії, які спрямовані на покращення чи посилення слабких сторін об'єкта досліджень завдяки можливостям;

**$S-T$  дії** – це стратегії, які використовують сильні сторони об'єкта досліджень для запобігання негативному впливу загроз;

**$W-T$  дії** – це стратегії, які спрямовані на покращення чи посилення слабких сторін об'єкта дослідження для запобігання негативному впливу загроз;

- експертне оцінювання напрацьованих стратегій розвитку чи удосконалення об'єкта досліджень щодо їх значущості, доцільності та можливості реалізації.

Таблиця 3.35 – SWOT-матриця

Фактори	Сприяють досягненню цілі	Заважають досягненню цілі
Внутрішні фактори	Сильні сторони ( $S$ )	Слабкі сторони ( $W$ )
	$S_1 - \dots$	$W_1 - \dots$
	$S_2 - \dots$	$W_2 - \dots$
	$S_3 - \dots$	$W_3 - \dots$
	$S_n - \dots$	$W_m - \dots$
Зовнішні фактори	Можливості ( $O$ )	Загрози ( $T$ )
	$O_1 - \dots$	$T_1 - \dots$
	$O_2 - \dots$	$T_2 - \dots$
	$O_3 - \dots$	$T_3 - \dots$
	$O_k - \dots$	$T_l - \dots$

Таблиця 3.36 – Зведена матриця SWOT-аналізу

	Зовнішні фактори	
	Можливості ( $O$ )	Загрози ( $T$ )
	<b>Внутрішні фактори</b>	$O_1 - \dots$ $O_2 - \dots$ $O_3 - \dots$ $\dots$ $O_k - \dots$
<b>Сильні сторони (<math>S</math>)</b>	<b><math>S-O</math> дії (сильні сторони/можливості)</b>	<b><math>S-T</math> дії (сильні сторони/загрози)</b>
$S_1 - \dots$ $S_2 - \dots$ $S_3 - \dots$ $\dots$ $S_n - \dots$	$S_1-O_1$ ; $S_1-O_2$ ; $\dots$ $S_2-O_1$ ; $S_2-O_2$ ; $\dots$	$S_1-T_1$ ; $S_1-T_2$ ; $\dots$ $S_2-T_1$ ; $S_2-T_2$ ; $\dots$
<b>Слабкі сторони (<math>W</math>)</b>	<b><math>W-O</math> дії (слабкі сторони/можливості)</b>	<b><math>W-T</math> дії (слабкі сторони/загрози)</b>
$W_1 - \dots$ $W_2 - \dots$ $W_3 - \dots$ $\dots$ $W_m - \dots$	$W_1-O_1$ ; $W_1-O_2$ ; $\dots$ $W_2-O_1$ ; $W_2-O_2$ ; $\dots$	$W_1-T_1$ ; $W_1-T_2$ ; $\dots$ $W_2-T_1$ ; $W_2-T_2$ ; $\dots$

### Приклад 3.13

Під час удосконалення чи розроблення харчових продуктів необхідно враховувати групи факторів [89]:

- економічні фактори: вартість сировини, доступність продукту (ціна) для споживачів, рентабельність виробництва, тощо;
- маркетингові фактори: потреба в продукті, конкурентоспроможність продукту, перспективи розвитку ринку, реклама тощо;
- соціальні фактори: підтримання концепції здорового харчування, забезпечення споживачів продуктами, які збагачені мікро- (вітаміни, мінеральні речовини, 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 внаслідок оброблення сировини тощо;

• якісні фактори: фізико-хімічні і органолептичні показники продукту.

Ураховуючи групи факторів напрацюємо стратегії удосконалення майонезного соусу з «вівсяним молоком» і виведення його на ринок. Фактори, що необхідно враховувати під час удосконаленні соусу та для виведення його на ринок, подані в матриці SWOT-аналізу (таблиця 3.37).

Таблиця 3.37 – Матриця SWOT-аналізу

Фактори	Сприяють досягненню цілі	Заважають досягненню цілі
1	2	3
Внутрішні фактори	<p><b>Сильні сторони (S)</b></p> <p>Економічні фактори:  <math>S_1</math> – дешева сировина;  <math>S_2</math> – доступність продукту для споживачів.</p> <p>Маркетингові фактори:  <math>S_3</math> – продукт затребуваний на ринку, оскільки унікальний.</p> <p>Соціальні фактори:  <math>S_4</math> – продукт для поціновувачів здорового харчування (вміст жиру та калорійність нижчі, ніж у традиційних соусів);  <math>S_5</math> – забезпечує споживачів макрота мікроелементами.</p> <p>Технологічні фактори:  <math>S_6</math> – проста технологія;  <math>S_7</math> – маловідходна технологія;  <math>S_8</math> – у рецептурі продукту використовуються інноваційні інгредієнти;  <math>S_9</math> – режими оброблення сировини мінімізують втрати корисних речовин.</p> <p>Якісні фактори:  <math>S_{10}</math> – органолептичні і фізико-хімічні показники соусу відповідають вимогам.</p>	<p><b>Слабкі сторони (W)</b></p> <p>Маркетингові фактори:  <math>W_1</math> – інформованість споживачів щодо переваг продукту є недостатньою;  <math>W_2</math> – у продукті вміст жиру більший, ніж у низькокалорійних соусів, що впливає на його конкурентоспроможність.</p> <p>Соціальні фактори:  <math>W_3</math> – продукт не є функціональним або оздоровчим.</p> <p>Технологічні фактори:  <math>W_4</math> – додаткові технологічні операції для приготування «вівсяного молока»;  <math>W_5</math> – під час приготування «вівсяного молока» є відходи (вівсяні вичавки).</p> <p>Якісні фактори:  <math>W_6</math> – продукт має меншу в'язкість порівняно з традиційними майонезними соусами.</p>

Закінчення таблиці 3.35

1	2	3
Зовнішні фактори	<p><b>Можливості (O)</b></p> <p>Економічні фактори:  <math>O_1</math> – зростання рентабельності внаслідок збільшення обсягів виробництва;  <math>O_2</math> – більшість споживачів надають переваги доступним за ціною продуктам.</p> <p>Маркетингові фактори:  <math>O_3</math> – перспективи розширення ринку збуту внаслідок недостатнього асортименту соусів цього типу;  <math>O_4</math> – активна рекламна кампанія продукту серед усіх верств населення.</p> <p>Соціальні фактори:  <math>O_5</math> – подальша популяризація серед різних верств населення здорового харчування і, відповідно, затребуваність у продуктах із низькою калорійністю та рослинними інгредієнтами, що містять макрота мікроелементи.</p> <p>Технологічні фактори:  <math>O_6</math> – широкий асортимент корисних добавок рослинного походження, якими можна збагатити продукт;  <math>O_7</math> – використання в рецептурі купажованої олії;  <math>O_8</math> – використання рослинного білка замість яйцепродуктів;  <math>O_9</math> – використання в рецептурі загусників.</p> <p>Якісні фактори:  <math>O_{10}</math> – можливість розширення асортименту та покращення органолептичних показників соусу внаслідок додавання різноманітних натуральних добавок.</p>	<p><b>Загрози (T)</b></p> <p>Економічні фактори:  <math>T_1</math> – постійне подорожчання інгредієнтів.</p> <p>Маркетингові фактори:  <math>T_2</math> – поява на ринку продуктів-конкурентів;  <math>T_3</math> – споживачі надають перевагу традиційним продуктам.</p> <p>Соціальні фактори:  <math>T_4</math> – соціально-економічна ситуація є складною, а це обумовлює зниження купівельної спроможності населення.</p> <p>Технологічні фактори:  <math>T_5</math> – ускладнення технології внаслідок використання в рецептурі інноваційних інгредієнтів;  <math>T_6</math> – втрати корисних речовин та збільшення відходів внаслідок ускладнення технології.</p> <p>Якісні фактори:  <math>T_7</math> – можливе використання штучних ароматизаторів, барвників, добавок тощо для здешевлення продукту, що погіршують його якісні показники.</p>

Джерело інформації: [43]

Аналіз факторів у **таблиці 3.37** дозволив сформувавши стратегії удосконалення майонезного соусу з «вівсяним молоком» та виведення його на ринок (**таблиці 3.38**) [43]:

- $S_1-O_1$  – дешева сировина створить сприятливі умови для нарощування обсягів виробництва та підвищення його рентабельності;
- $S_2-O_2$  – доступна ціна продукту дозволить розширити сегмент його споживачів;
- $S_3-O_5$  – унікальність продукту, менший вміст жиру та калорійність, ніж у традиційних майонезних соусів, а також підвищений вміст мінеральних речовин внаслідок недостатнього асортименту соусів цього типу на ринку забезпечать його затребуваність поміж споживачів, що дотримуються здорового харчування та мають дефіцит макро- і мікроелементів в організмі;
- $W_1-O_4$  – активна рекламна кампанія серед усіх верств населення дозволить підвищити інформованість споживачів щодо переваг продукту і, відповідно, збільшити його продажі;
- $W_2-O_8$  – використання рослинного білка замість яйцепродуктів дозволить зменшити вміст жиру у продукті і, відповідно, підвищити його конкурентоспроможність поміж майонезних соусів;
- $W_3-O_{6,7}$  – використання в рецептурі продукту купажованої олії (суміші різних олій) та корисних добавок рослинного походження дозволить його збагатити корисними нутрієнтами, покращити органолептичні показники та надати йому властивостей функціонального продукту;
- $W_6-O_9$  – використання в рецептурі загусників дозволить підвищити в'язкість продукту;
- $S_{6,7}-T_{1,4}$  – проста та маловідходна технологія виготовлення продукту і напівфабрикату («вівсяного молока») власного виробництва дозволить зменшити негативний вплив подорожчання сировини, зокрема «вівсяного молока», тому, навіть за умов погіршення соціально-економічної ситуації, продукт залишатиметься доступним для всіх верств населення;
- $S_{3,5}-T_{2,3}$  – унікальність продукту, його рецептурний склад та властивості надають йому переваги на ринку порівняно з продуктами-конкурентами і традиційними соусами, зокрема поміж поціновувачів здорового харчування;
- $S_9-T_{5,6}$  – у випадку використання в рецептурі інноваційних інгредієнтів та/або добавок, які обумовлюють ускладнення технології, необхідно дотримуватися режимів їх оброблення, що мінімізують втрати корисних речовин;

- $S_{6,9}-T_7$  – недопустимість використання штучних ароматизаторів, барвників та смакових добавок для здешевлення продукту, натомість пошук інноваційних інгредієнтів та нових технологічних рішень для вирішення цієї проблеми;
- $W_1-T_{2,3}$  – інформування споживачів щодо переваг продукту порівняно з продуктами-конкурентами та традиційними соусами;
- $W_{4,5}-T_6$  – власне виробництво напівфабрикатів із забезпеченням мінімальних втрат корисних речовин та розробленням напрямів використання відходів для здешевлення продукту;
- $W_2-T_{5,6}$  – використання інноваційних інгредієнтів, що дозволять зменшити вміст жиру в продукті та його калорійність і, разом з тим, суттєво не ускладнять технологію виробництва і не зумовлять збільшення відходів, причому ці інгредієнти повинні бути рослинного походження.

Таблиця 3.38 – Зведена матриця SWOT-аналізу

Внутрішні фактори	Зовнішні фактори	
	Можливості (O)	Загрози (T)
	$O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6, O_7, O_8, O_9, O_{10}$	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$
Сильні сторони (S)	S-O дії (сильні сторони / можливості)	S-T дії (сильні сторони / загрози)
$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$	$S_1-O_1, S_2-O_2, S_3-O_5$	$S_{6,7}-T_{1,4}, S_{3,5}-T_{2,3}, S_9-T_{5,6}, S_{6,9}-T_7$
Слабкі сторони (W)	W-O дії (слабкі сторони / можливості)	W-T дії (слабкі сторони / загрози)
$W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6$	$W_1-O_4, W_2-O_8, W_3-O_{6,7}, W_6-O_9$	$W_1-T_{2,3}, W_{4,5}-T_6, W_2-T_{5,6}$

Сформуємо із напрацьованих стратегій дві групи [43]:

- стратегії, що спрямовані на удосконалення майонезного соусу та технології виготовлення з урахуванням тенденцій ринку та наукових розробок:  $W_2-O_8; W_3-O_{6,7}; W_6-O_9; S_{6,7}-T_{1,4}; S_9-T_{5,6}; S_{6,9}-T_7; W_{4,5}-T_6; W_2-T_{5,6}$ .
- стратегії, що спрямовані на успішне виведення удосконаленого продукту на ринок:  $S_1-O_1; S_2-O_2; S_{3,5}-O_5; W_1-O_4; S_{3,5}-T_{2,3}; W_1-T_{2,3}$ .

Для визначення пріоритетності кожної стратегії в межах двох сформованих груп було запропоновано експертам оцінити в балах значущість стратегій та ймовірність їх реалізації за кваліметричними шкалами (**таблиця 3.39**).

Таблиця 3.39 – Кваліметричні шкали для оцінювання значущості стратегій та ймовірності їх реалізації

Значущість стратегій		Ймовірність реалізації стратегій	
Бал	Характеристика	Бал	Характеристика
1	відсутня	1	мала
2	дуже незначна	2	дуже низька
3	незначна	3	низька
4	дуже слабка	4	нижче помірної
5	слабка	5	помірна
6	помірна	6	вище помірної
7	значна	7	помірно висока
8	дуже значна	8	висока
9	важлива	9	дуже висока
10	дуже важлива	10	майже неминуча

Джерело інформації: *цит. за: [43]*

Після отримання експертних оцінок визначалися середні арифметичні значення значущості та ймовірності реалізації для кожної стратегії. За обчисленими середніми значеннями визначалася пріоритетність реалізації стратегії за виразом:

$$R = K \cdot P,$$

де  $R$  – пріоритетність реалізації стратегії;  $K$  – середнє арифметичне значення значущості стратегії, бал;  $P$  – середнє арифметичне значення ймовірності реалізації стратегії, бал.

Значення пріоритетності реалізації стратегії може перебувати в межах від 1 до 100. Перевага надається стратегіям, які мають більше значення обчисленого показника пріоритетності реалізації стратегії.

Ураховуючи результати обчислення пріоритетності реалізації стратегій (*таблиця 3.40*) встановлено, що поміж сформованих стратегій першої групи, які спрямовані на удосконалення майонезного соусу та технології його виготовлення, найбільш пріоритетними є:  $W_{4,5}-T_6-R=57,2$ ;  $S_{6,9}-T_7-R=56,9$ ;  $S_9-T_{5,6}-R=54,3$ ;  $W_2-T_{5,6}-R=53,3$ . Поміж стратегій другої групи, що спрямовані на успішне виведення удосконаленого продукту на ринок, найбільш пріоритетними є:  $W_1-O_4-R=72,3$ ;  $W_1-T_{2,3}-R=64,1$ ;  $S_{3,5}-O_5-R=63$ . Узгодженість думок експертів стосовно значущості напрацьованих

стратегій перевірялася за допомогою коефіцієнта варіації  $V$ , що обчислювався за виразом (3.22):

- середня для стратегій:  $W_3-O_{6,7}$  ( $V=17\%$ );  $S_{3,5}-T_{2,3}$  ( $V=17\%$ );  $W_6-O_9$  ( $V=18\%$ );  $S_{6,9}-T_7$  ( $V=23\%$ );  $W_2-T_{5,6}$  ( $V=23\%$ );
- вище середньої для стратегій:  $S_2-O_2$  ( $V=11\%$ );  $W_1-T_{2,3}$  ( $V=13\%$ );  $S_9-T_{5,6}$  ( $V=15\%$ );  $W_2-O_8$  ( $V=15\%$ );  $S_1-O_1$  ( $V=15\%$ );  $S_{3,5}-O_5$  ( $V=15\%$ );
- висока для стратегій:  $W_1-O_4$  ( $V=6\%$ );  $W_{4,5}-T_6$  ( $V=7\%$ );  $S_{6,7}-T_{1,4}$  ( $V=10\%$ ).

Таблиця 3.40 – Результати оцінювання значущості стратегій та ймовірності їх реалізації

Стратегії	Середнє значення значущості стратегій $K$ , бали	Середнє значення ймовірності реалізації стратегій $P$ , бали	Пріоритетність реалізації стратегій $R$
$S_1-O_1$	6,50	7,25	47,1
$S_2-O_2$	7,63	8,25	62,9
$S_{3,5}-O_5$	8,00	7,88	63,0
$W_1-O_4$	8,63	8,38	72,3
$W_2-O_8$	7,00	6,75	47,3
$W_3-O_{6,7}$	6,75	7,63	51,5
$W_6-O_9$	6,50	6,63	43,4
$S_{6,7}-T_{1,4}$	7,50	7,00	52,5
$S_{3,5}-T_{2,3}$	7,88	7,25	57,1
$S_9-T_{5,6}$	7,75	7,00	54,3
$S_{6,9}-T_7$	8,13	7,00	56,9
$W_1-T_{2,3}$	8,13	7,88	64,1
$W_{4,5}-T_6$	7,50	7,63	57,2
$W_2-T_{5,6}$	6,88	7,75	53,3

Джерело інформації: [43]

### Приклад 3.14

Для забезпечення ефективної роботи їдальні закладу вищої освіти її інфраструктура має відповідати вимогам ДБН В.2.2-25:2009 [90] та ДБН В.2.2-3:2018 [91]. Проаналізуємо відповідність інфраструктури їдальні університету вимогам ДБН В.2.2-25:2009 і ДБН В.2.2-3:2018 та напрацюємо стратегії її удосконалення (модернізації) із використанням SWOT-аналізу. Аналізувати будемо розташування їдальні, її об'ємно-планувальне рішення, системи водопостачання, каналізації,

опалення, вентиляції, кондиціонування, електропостачання, технологічне обладнання, інвентар та меблі, а також системи зв'язку, сигналізації, видалення сміття, пожежної безпеки та забезпечення належного санітарно-гігієнічного стану закладу.

Оцінювання експертами складових інфраструктури їдальні для її належного функціонування дозволило визначити їх коефіцієнти вагомості [92]: розташування  $m_c=0,07$ ; об'ємно-планувальне рішення  $m_c=0,1$ ; системи водопостачання та каналізації  $m_c=0,13$ ; системи опалення, вентиляції та кондиціонування  $m_c=0,05$ ; система електропостачання  $m_c=0,16$ ; технічний стан технологічного обладнання, забезпеченість їдальні необхідним посудом, інвентарем та меблями  $m_c=0,12$ ; системи зв'язку, сигналізації і інтерактивні технології  $m_c=0,06$ ; система видалення сміття  $m_c=0,11$ ; система пожежної безпеки  $m_c=0,07$ ; система забезпечення належного санітарно-гігієнічного стану закладу  $m_c=0,13$ .

Експертами визначено переваги та недоліки складових інфраструктури їдальні, потенційні зовнішні можливості для удосконалення (модернізації) інфраструктури та потенційні зовнішні загрози для неї. Також проведено оцінювання значущості переваг, недоліків, можливостей та загроз у форматі мозкового штурму з виставленням експертами оцінок, які базуються на єдиній думці. Для оцінювання використовувалася п'ятибальна шкала (**таблиці 3.41**). Оцінки (бали) значущості переваг і потенційних зовнішніх можливостей виставлялися зі знаком «+», а оцінки (бали) значущості недоліків і потенційних зовнішніх загроз виставлялися зі знаком «-» [92].

Зважена оцінка складової інфраструктури обчислювалася за виразом:

$$p_i = m_i \sum_{k=1}^l b_k,$$

де  $p_i$  – зважена оцінка  $i$ -ї складової інфраструктури, %;  $b_k$  – оцінка (в балах)  $k$ -ї переваги чи недоліка  $i$ -ї складової інфраструктури, бали;  $l$  – кількість переваг чи недоліків  $i$ -ї складової інфраструктури.

Результати оцінювання важливості інфраструктурних складових їдальні університету для її належного функціонування та їх переваг і недоліків подані в **таблиці 3.42**. Результати оцінювання потенційних зовнішніх можливостей та загроз для інфраструктури їдальні подані в **таблиці 3.43**.

За результатами проведення SWOT-аналізу напрацьовані стратегії удосконалення (модернізації) інфраструктури їдальні університету [92]:

- $S_1-O_2$  – для збільшення кількості відвідувачів/покупців доцільно створити умови для реалізації продукції власного виробництва

(напівфабрикатів та кулінарних виробів), виділивши торгове приміщення з окремим входом з вулиці та встановити зовнішню рекламу;

- $W_9-O_4$  – для модернізації систем водопостачання та каналізації доцільно встановити сучасні системи очищення води та стічних вод, а також модернізувати каналізацію;

- $W_{12}-O_6$  – придбання автономного джерела електроживлення модернізує систему електроживлення і забезпечить надійну безперебійну роботу всього електричного обладнання та освітлення їдальні;

- $W_{15,16}-O_8$  – для збільшення кількості відвідувачів доцільно впровадити сучасні платіжні пристрої, інтерактивні технології (електронне меню, онлайн-замовлення з доставленням тощо) і систему автоматизованого ведення бізнесу;

- $W_{18}-O_9$  – впровадження сортування відходів в їдальні дозволить зробити виробничий процес у закладі більш безпечним для довкілля;

- $W_{20}-O_{10}$  – для створення умов для безпечної роботи персоналу та перебування відвідувачів доцільно встановити сучасну систему пожежної безпеки;

- $W_{21}-T_{18}$  – для виробництва безпечної продукції (унеможливити мікробіологічне, фізичне або хімічне забруднення) доцільно впровадити в їдальні систему НАССР.

**Таблиця 3.41** – Шкали оцінювання переваг/недоліків інфраструктури їдальні та можливостей/загроз для її функціонування

Бал	Характеристика (значущість переваг/недоліків)	Характеристика (значущість можливостей/загроз)
	Переваги	Можливості
+1	не є перевагою	не є можливістю
+2	незначна перевага	незначна можливість
+3	значна перевага	значна можливість
+4	важлива перевага	важлива можливість
+5	дуже важлива перевага	дуже важлива можливість
	Недоліки	Загрози
-1	не є недоліком	не є загрозою
-2	незначний недолік	незначна загроза
-3	значний недолік	значна загроза
-4	важливий недолік	важлива загроза
-5	дуже важливий недолік	дуже важлива загроза

Джерело інформації: [92]

Таблиця 3.42 – Результати оцінювання важливості інфраструктурних складових їдальні для її належного функціонування та їх переваг і недоліків

Складова інфраструктури їдальні та її коефіцієнт вагомості	Переваги та недоліки інфраструктурних складових їдальні	Оцінка переваг та недоліків, бали	
		переваги	недоліки
1	2	3	4
Розташування $m_c=0,07$	$S_1$ – їдальня розташована на першому поверсі головного корпусу університету поряд із зупинкою громадського транспорту	+5	
	$S_2$ – поряд розташовано гуртожиток	+5	
	$S_3$ – передбачено господарський двір з під'їзними шляхами, розвантажувальний майданчик поряд із складськими приміщеннями, сміттєзбірник та стоянка для автомобілів	+5	
	$W_1$ – головний корпус розташовано на околиці міста		-3
	Всього	+15	-3
	Зважена оцінка	+1,05	-0,21
	Об'ємно-планувальне рішення $m_c=0,1$	$S_4$ – потоки переміщення сировини і готової продукції, чистого та використаного посуду, руху відвідувачів і персоналу не перетинаються	+5
$S_5$ – доступність для маломобільних відвідувачів		+5	
$S_6$ – планування приміщень відповідає чинним вимогам		+5	
$S_7$ – роздільні входи для відвідувачів і персоналу		+4	
$S_8$ – в обідніх залах та виробничих приміщеннях є природне освітлення		+4	
$S_9$ – роздавальня розташована у безпосередньому зв'язку з гарячим цехом		+4	
$S_{10}$ – усі приміщення їдальні розташовані на одному рівні		+4	

Продовження таблиці 3.42

1	2	3	4	
Об'ємно-планувальне рішення $m_c=0,1$ (продовження)	$S_{11}$ – виробнича група приміщень розташована в єдиній функціональній зоні	+5		
	$S_{12}$ – мийні кухонного та столового посуду відокремлені	+5		
	$S_{13}$ – передбачено роздільне зберігання в належних умовах усіх видів сировини і продуктів	+5		
	$S_{14}$ – службово-побутові приміщення спроектовані в єдиному блоці	+3		
	$S_{15}$ – утеплено та відремонтовано фасад їдальні	+4		
	$W_2$ – невелика площа обідньої зали		-3	
	$W_3$ – вхід в їдальню для відвідувачів тільки з вестибюля головного корпусу		-3	
	$W_4$ – туалет за межами їдальні в корпусі університету		-4	
	$W_5$ – гардероб за межами їдальні в корпусі університету		-4	
	$W_6$ – гарячий та холодний цехи об'єднані в одному приміщенні		-3	
	$W_7$ – відсутність зовнішньої реклами		-3	
	$W_8$ – дизайн обідньої зали потребує модернізації, щоб забезпечити оптимальний мікроклімат для відвідувачів		-3	
	Всього	+53	-23	
	Зважена оцінка	+5,30	-2,30	
	Системи водопостачання та каналізації $m_c=0,13$	$S_{16}$ – їдальня обладнана системами господарсько-питного і протипожежного водопостачання, каналізації	+5	
		$W_9$ – мережа системи каналізації потребує модернізації		-4
		$W_{10}$ – не усі умивальники мають підведення гарячої води		-4
Всього		+5	-8	
Зважена оцінка		+0,65	-1,04	

Продовження таблиці 3.42

1	2	3	4
Системи опалення, вентиляції та кондиціонування $m_c=0,05$	$S_{17}$ – ідальня обладнана системами опалення та вентиляції усіх приміщень	+4	
	$W_{11}$ – відсутня система кондиціонування		-4
	Всього	+4	-4
	Зважена оцінка	+0,20	-0,20
Система електропостачання $m_c=0,16$	$S_{18}$ – система електропостачання забезпечує надійну безперебійну роботу усього електричного обладнання та освітлення ідальні	+5	
	$W_{12}$ – система електропостачання потребує часткової модернізації		-3
	Всього	+5	-3
	Зважена оцінка	+0,80	-0,48
Технологічне обладнання, посуд, інвентар та меблі $m_c=0,12$	$S_{19}$ – ідальня забезпечена необхідним технологічним обладнанням та інвентарем	+4	
	$W_{13}$ – кухонний інвентар, столові прибори і посуд потребують часткового оновлення		-3
	Всього	+4	-3
	Зважена оцінка	+0,48	-0,36
Системи зв'язку, сигналізації та інтерактивні технології $m_c=0,06$	$S_{20}$ – ідальня обладнана університетською охоронною сигналізацією	+3	
	$S_{21}$ – в ідальні є безкоштовна загально університетська мережа Wi-Fi	+4	
	$W_{14}$ – в обідній залі відсутня інформація щодо безкоштовного Wi-Fi		-3
	$W_{15}$ – відсутня можливість розрахунку через платіжний пристрій		-5
	$W_{16}$ – відсутні сучасні інтерактивні технології для закладів ресторанного господарства		-4
	Всього	+7	-12
	Зважена оцінка	+0,42	-0,72

Закінчення таблиці 3.42

1	2	3	4
Система видалення сміття $m_c=0,11$	$S_{22}$ – передбачені баки і контейнери для сміття в усіх приміщеннях ідальні та сміттєзбірник у внутрішньому дворі ідальні	+5	
	$W_{17}$ – відсутні засоби пилоприбирання		-3
	$W_{18}$ – відсутнє роздільне збирання відходів		-4
	Всього	+5	-7
	Зважена оцінка	+0,55	-0,77
Система пожежної безпеки $m_c=0,07$	$S_{23}$ – розміщені знаки безпеки, наявна загальна університетська система оповіщення щодо пожежі	+4	
	$S_{24}$ – у приміщеннях ідальні заборонене куріння	+5	
	$W_{19}$ – відсутнє аварійне освітлення		-4
	$W_{20}$ – відсутні системи автоматичної пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння		-5
	Всього	+9	-9
Зважена оцінка	+0,63	-0,63	
Система забезпечення належного санітарно-гігієнічного стану закладу $m_c=0,13$	$S_{25}$ – передбачено належне прибирання приміщень ідальні та догляд за їх станом	+5	
	$W_{21}$ – не впроваджена система НАССР		-5
	Всього	+5	-5
Зважена оцінка	+0,65	-0,65	
Підсумок (зважена оцінка)		+10,73	-7,36

Таблиця 3.43 – Результати оцінювання потенційних зовнішніх можливостей та загроз для інфраструктури ідальні

Складова інфраструктури ідальні та її коефіцієнт вагомості	Потенційні зовнішні можливості та загрози для інфраструктури ідальні	Оцінка зовнішніх можливостей та загроз, бали	
		можливості	загрози
1	2	3	4
Розташування $m_c=0,07$	$O_1$ – у перспективі будівництво нових житлових кварталів	+2	
	$T_1$ – у межах 500 м від ідальні розташовані заклади ресторанного господарства, кіоски з фаст-фудом, відділи-кулінарії в закладах торгівлі		-5
	Всього	+2	-5
	Зважена оцінка	+0,14	-0,35
Об'ємно-планувальне рішення $m_c=0,1$	$O_2$ – можливість виділення приміщення у головному корпусі університету для торгівлі напівфабрикатами та кулінарними виробами власного виробництва	+3	
	$T_2$ – зміна цільового призначення виробничих приміщень ідальні, зокрема під навчальні аудиторії чи структурні підрозділи		-2
	Всього	+3	-2
	Зважена оцінка	+0,30	-0,20
Системи водопостачання та каналізації $m_c=0,13$	$O_3$ – модернізація мереж водопостачання та каналізації у місті	+2	
	$O_4$ – сучасні системи очищення води та стічних вод	+4	
	$T_3$ – зростання тарифів		-4
	$T_4$ – високий рівень зношування об'єктів комунальної інфраструктури		-4
	$T_5$ – аварії в міських мережах		-5
	Всього	+6	-13
Зважена оцінка	+0,78	-1,69	
Системи опалення, вентиляції та кондиціонування $m_c=0,05$	$O_5$ – енергоощадні технології	+4	
	$T_6$ – зростання тарифів		-4
	$T_7$ – аварії в міських мережах		-2
	Всього	+4	-6
	Зважена оцінка	+0,20	-0,30

Продовження таблиці 3.43

1	2	3	4
Система електропостачання $m_c=0,16$	$O_6$ – автономні джерела електроживлення	+5	
	$T_8$ – зростання тарифів		-5
	$T_9$ – аварії в міських мережах		-3
	$T_{10}$ – перебої з постачанням електроенергії		-3
	Всього	+5	-11
Зважена оцінка	+0,80	-1,76	
Технологічне обладнання, посуд, інвентар та меблі $m_c=0,12$	$O_7$ – сучасне технологічне обладнання та інвентар	+4	
	$T_{11}$ – зростання вартості технологічного обладнання, інвентаря та меблів		-4
Технологічне обладнання, посуд, інвентар і меблі $m_c=0,12$	Всього	+4	-4
	Зважена оцінка	+0,48	-0,48
Системи зв'язку, сигналізації та інтерактивні технології $m_c=0,06$	$O_8$ – сучасні платіжні пристрої та інтерактивні технології для закладів ресторанного господарства	+5	
	$T_{12}$ – висока вартість впровадження сучасних інтерактивних технологій		-4
	$T_{13}$ – необхідність навчання персоналу роботі з використанням сучасних інтерактивних технологій		-4
	Всього	+5	-8
Зважена оцінка	+0,30	-0,48	
Система видалення сміття $m_c=0,11$	$O_9$ – роздільне збирання відходів	+4	
	$T_{14}$ – затримки із вивезенням сміття		-3
	Всього	+4	-3
	Зважена оцінка	+0,44	-0,33
Система пожежної безпеки $m_c=0,07$	$O_{10}$ – сучасні системи пожежної безпеки	+5	
	$T_{15}$ – пожежі в суміжних приміщеннях університету		-3
	$T_{16}$ – висока вартість впровадження сучасних систем пожежної безпеки		-4
	Всього	+5	-7
	Зважена оцінка	+0,35	-0,49

Закінчення таблиці 3.43

1	2	3	4
Система забезпечення належного санітарно-гігієнічного стану закладу $m_c=0,13$	$O_{II}$ – система НАССР	+5	
	$T_{17}$ – висока вартість впровадження системи НАССР		-3
	$T_{18}$ – мікробіологічне, фізичне або хімічне забруднення ззовні		-4
	Всього	+5	-7
	Зважена оцінка	+0,65	-0,91
Підсумок (зважена оцінка)		+4,44	-6,99

Джерело інформації: [92]

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.14.** За допомогою методу SWOT-аналізу напрацювати стратегії розроблення крафтового зефіру оздоровчого призначення з функціональними інгредієнтами природного походження. За базовий варіант прийняти зефір на агарі. Під час SWOT-аналізу проаналізувати фактори (економічні, маркетингові, соціальні, технологічні, якісні), які впливають на доцільність розроблення харчового продукту. Із залученням експертів (здобувачів) провести оцінювання в балах значущості стратегій та ймовірності їх реалізації за кваліметричними шкалами (таблиця 3.39), а також визначити пріоритетність кожної стратегії. Результати оформити у вигляді презентації та представити її перед одногрупниками.

**Завдання 3.15.** Провести SWOT-аналіз торгової зали студентської їдальні та на основі проведеного аналізу запропонувати можливі стратегії її модернізації. Результати оформити у вигляді презентації та представити її перед одногрупниками.

**Завдання 3.16.** За допомогою методу SWOT-аналіз визначити переваги та недоліки технології виробництва крафтового напою «Вівсяне молоко», а також визначити можливості щодо її удосконалення та загрози для її реалізації. Сформулювати стратегії удосконалення технології напою для забезпечення його безпечності для споживачів та зменшення кількості відходів. Із залученням експертів (здобувачів) провести оцінювання в балах значущості стратегій та ймовірності їх реалізації

за кваліметричними шкалами (таблиця 3.39), а також визначити пріоритетність кожної стратегії.

Технологія крафтового напою «Вівсяне молоко»: вівсяні пластівців заливаються кип'яченою водою, що охолоджена до 20 °С, у співвідношенні 1:2; настоювання вівсяних пластівців протягом 3 год; проціджування крізь сито або марлю; зберігання за температури +4 °С не більше 24 год. Відходи – вівсяні вичавки.

### 3.5 СТАТИСТИЧНІ РЯДИ РОЗПОДІЛУ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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 [93; 94].

**Статистична сукупність** – це сукупність об'єктів, які схожі в будь-якому відношенні, але водночас мають мінливі ознаки, що досліджуються [93]. **Мінливі ознаки** – це ознаки, що мають різні значення в окремих одиницях сукупності. Окремі значення мінливих ознак називають **варіантами**. Мінливі ознаки поділяються на два типи [93]:

- **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 [93]. **Частотою** називають чисельність групи варіаційного ряду, що може бути виражена в абсолютних величинах та у відносних величинах (**відносна частота**):

$$p_i = m_i / n, \quad (3.23)$$

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

Як правило, варіаційні ряди розподілу зображують 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:

$$k = 1 + 3,322 \cdot \lg(n), \quad (3.24)$$

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:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}, \quad (3.25)$$

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

### Приклад 3.15

У результаті зважування цукерок «Ліщина» сформована статистична сукупність (**таблиця 3.44**). Необхідно побудувати інтервальний варіаційний ряд розподілу цукерок за масою та зобразити його графічно, побудувавши гістограму та полігон.

Таблиця 3.44 – Результати зважування цукерок «Ліщина»

Маса цукерок «Ліщина», г									
17,3	17,5	17,1	<b>18,2</b>	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	<b>16,8</b>	18,1	16,9
17,3	17,4	17,1	17,8	17,0	17,9	17,2	17,9	17,3	17,6

Мінімальне та максимальне значення маси цукерок «Ліщина» у статистичній сукупності (**таблиця 3.44**):  $x_{\max} = 18,2$  г,  $x_{\min} = 16,8$  г.

Ураховуючи, що чисельність досліджуваної сукупності  $n = 50$  шт., за виразом (3.24) обчислимо кількість інтервалів (груп), на яку поділимо сукупність:

$$k = 1 + 3,322 \cdot \lg(50) = 6,6.$$

Приймаємо кількість груп  $k = 7$ .

Обчислимо величину інтервалу варіаційного ряду за виразом (3.25):

$$h = (18,2 - 16,8) / 7 = 0,2 \text{ г.}$$

Мінімальне значення маси цукерок  $x_{\min} = 16,8$  г приймаємо за нижню межу першого інтервалу, а верхню визначаємо як  $x_{\min} + h = 16,8 + 0,2 = 17$  г. Відповідно, межі першого інтервалу складуть 16,8–17,0 г. Верхня межа першого інтервалу буде нижньою межею другого інтервалу. Додаючи до неї величину інтервалу ( $h$ ), знаходимо верхню межу другого інтервалу. Аналогічно визначаємо межі усіх семи інтервалів (**таблиця 3.45**).

Підраховуємо кількість значень маси цукерок (частоту), що потрапляє в кожен з інтервалів та обчислимо відносну частоту для кожного інтервалу за виразом (3.23). Якщо значення маси попадає на межу інтервалів, то його зараховують лише в один із них. За результатами проведених обчислень сформуємо таблицю варіаційного ряду розподілу (**таблиця 3.45**).

Таблиця 3.45 – Інтервальний варіаційний ряд розподілу маси цукерок «Ліщина»

№ групи (інтервалу)	Межі групи (інтервалу), г	Частота $m_i$	Відносна частота $p_i$
I	2	3	4
I	16,8–17,0	3	0,06
II	17,0–17,2	6	0,12
III	17,2–17,4	11	0,22
IV	17,4–17,6	12	0,24
V	17,6–17,8	9	0,18
VI	17,8–18,0	5	0,10
VII	18,0–18,2	4	0,08
Всього		50	1,00

За даними **таблиці 3.45** побудуємо гістограму та полігон для ряду розподілу цукерок за масою. Для побудови гістограми частоти (**рис. 3.7**) значення інтервалів відкладаємо на осі абсцис, а частоти  $m_i$  – на осі ординат. З'єднавши прямими лініями середини верхніх сторін прямокутників гістограми отримаємо полігон частоти. Аналогічно будується гістограма та полігон відносної частоти (**рис. 3.8**), де на осі ординат відкладаємо значення відносної частоти  $p_i$ .

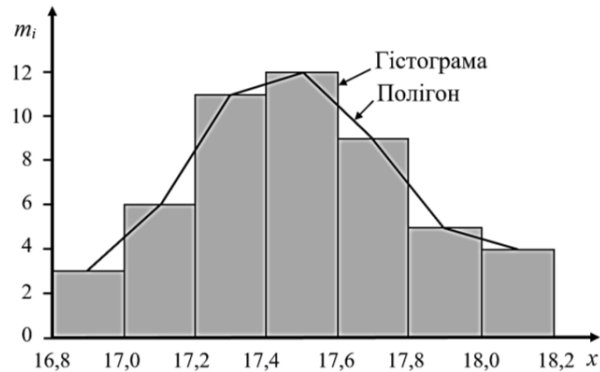


Рисунок 3.7 – Гістограма та полігон інтервального ряду розподілу 50 цукерок «Ліщина» за масою (для частоти  $m_i$ )

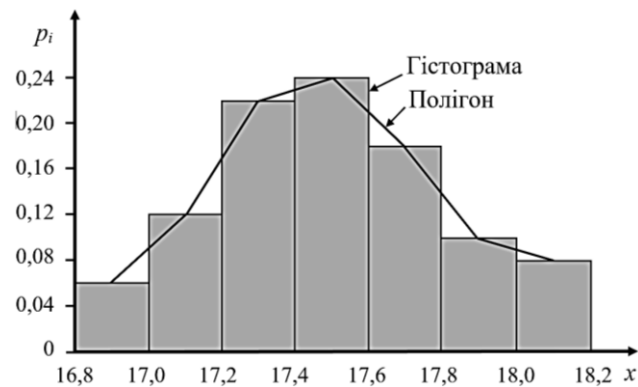


Рисунок 3.8 – Гістограма та полігон інтервального ряду розподілу 50 цукерок «Ліщина» за масою (для відносної частоти  $p_i$ )

**Середня арифметична величина** (проста):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.26)$$

де  $x_i$  – варіанта;  $n$  – кількість варіант.

### Приклад 3.16

Стійкість емульсії п'яти зразків майонезу подана в **таблиці 3.46**.

Таблиця 3.46 – Результати визначення стійкості емульсії зразків майонезу

Параметр	Номер зразка майонезу				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Стійкість емульсії, %	98	99	97	99	99

Обчислимо середню арифметичну величину (просту) за виразом (3.26):

$$\bar{x} = (98 + 99 + 97 + 99 + 99) / 5 = 98,4 \%$$

**Середня арифметична величина** (зважена):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i m_i}{\sum_{i=1}^k m_i}, \quad (3.27)$$

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

### Приклад 3.17

Використовуючи дані варіаційного ряду розподілу (**таблиця 3.45**), обчислимо середню арифметичну величину (зважену) маси 50 цукерок «Ліщина». Усі необхідні дані для обчислення подані в **таблиці 3.47**.

Таблиця 3.47 – Інтервальний варіаційний ряд розподілу маси цукерок «Ліщина»

№ групи (інтервалу)	Межі групи (інтервалу), г	Середина групи (інтервалу) $x_i$ , г	Частота $m_i$	Добуток $x_i m_i$
1	2	3	4	5
I	16,8–17,0	16,9	3	50,7
II	17,0–17,2	17,1	6	102,6
III	17,2–17,4	17,3	11	190,3
IV	17,4–17,6	17,5	12	210,0
V	17,6–17,8	17,7	9	159,3
VI	17,8–18,0	17,9	5	89,5
VII	18,0–18,2	18,1	4	72,4
Всього			50	874,8

Обчислимо середню арифметичну величину (зважену) маси 50 цукерок «Ліщина» за виразом (3.27):

$$\bar{x} = 874,8 / 50 = 17,5 \text{ г.}$$

**Середня квадратична величина (проста):**

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}, \quad (3.28)$$

де  $x_i$  – варіанта;  $n$  – кількість варіант.

**Середня квадратична величина (зважена):**

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k x_i^2 m_i}{\sum_{i=1}^k m_i}}, \quad (3.29)$$

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

### Приклад 3.18

Визначити середню квадратичну величину (просту) за виразом (3.28) для стійкості емульсії п'яти зразків майнезу за даними **таблиці 3.46**:

$$\bar{x} = ((98^2 + 99^2 + 97^2 + 99^2 + 99^2) / 5)^{0,5} = 98,4 \text{ \%}.$$

**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:

$$M_o = x_0 + h \frac{m_{M_o} - m_{M_o-1}}{(m_{M_o} - m_{M_o-1}) + (m_{M_o} - m_{M_o+1})}, \quad (3.30)$$

де  $x_0$  – нижня межа модального інтервалу;  $h$  – величина інтервалу;  $m_{M_o-1}$  – частота інтервалу, що передує модальному;  $m_{M_o}$  – частота модального інтервалу;  $m_{M_o+1}$  – 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:

$$M_e = x_0 + h \frac{0,5 \sum_{i=1}^k m_i - S_{M_e-1}}{m_{M_e}}, \quad (3.31)$$

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

### Приклад 3.19

Обчислимо медіану та моду варіаційного ряду розподілу маси 50 цукерок «Ліщина» (**таблиця 3.48**). У **таблиці 3.48** нагромаджені частоти визначалися шляхом послідовного додавання до частоти першої групи частот наступних груп ряду розподілу. Медіанним є інтервал IV з межами 17,4–17,6, оскільки на нього припадає перша нагромаджена частота, що перевищує половину всього обсягу сукупності (32 перевищує  $50/2 = 25$ ).

Обчислимо медіанне значення маси цукерок «Ліщина» за виразом (3.31):

$$M_e = 17,4 + 0,2 \cdot \frac{0,5 \cdot 50 - 20}{12} = 17,48 \text{ г,}$$

де 17,4 – нижня межа медіанного інтервалу IV; 0,2 – величина інтервалу; 50 – нагромаджена частота; 12 – частота медіанного інтервалу; 20 – сума нагромаджених частот інтервалу III, який передує медіанному.

Таблиця 3.48 – Інтервальний варіаційний ряд розподілу маси цукерок

№ групи	Межі групи, г	Частота $m_i$	Нагромаджені частоти
I	16,8–17,0	3	3
II	17,0–17,2	6	9
III	17,2–17,4	11	20
IV	17,4–17,6	12	32
V	17,6–17,8	9	41
VI	17,8–18,0	5	46
VII	18,0–18,2	4	50
Всього		50	-

Обчислимо модальне значення маси (IV інтервал з межами 17,4–17,6 містить моду, оскільки він має найбільшу частоту 12) за виразом (3.30):

$$M_o = 17,4 + 0,2 \cdot \frac{12 - 11}{(12 - 11) + (12 - 9)} = 17,45 \text{ г,}$$

де 17,4 – нижня межа модального інтервалу IV; 0,2 – величина інтервалу; 11 – частота інтервалу III, що передує модальному; 12 – частота модального інтервалу IV; 9 – частота інтервалу V, який наступний за модальним.

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

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

$$R = x_{max} - x_{min}. \quad (3.32)$$

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

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}, \quad (3.33)$$

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

Дисперсію (зважену) обчислюють за виразом:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 m_i}{\sum_{i=1}^k m_i}, \quad (3.34)$$

де  $\sigma^2$  – 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:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (3.35)$$

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

Стандартне відхилення (зважене) обчислюють за виразом:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 m_i}{\sum_{i=1}^k m_i}}, \quad (3.36)$$

де  $\sigma$  – 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:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (3.37)$$

### Приклад 3.20

Використовуючи дані варіаційного ряду розподілу маси цукерок «Ліщина» (*таблиця 3.45*), обчислимо показники варіації: розмах варіації, дисперсію, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації. Необхідні для обчислення дані подані в *таблиці 3.49*. Використаємо дані *таблиці 3.44* для обчислення розмаху варіації за виразом (3.32):

$$R = 18,2 - 16,8 = 1,4 \text{ г.}$$

Використовуючи дані *таблиці 3.47*, обчислимо середню арифметичну величину (зважену) маси 50 цукерок «Ліщина» за виразом (3.27):

$$\bar{x} = 874,8 / 50 = 17,5 \text{ г.}$$

Обчислимо квадрат різниці  $(x_i - \bar{x})^2$  для кожного інтервалу, віднявши від значень графі 3 (*таблиця 3.49*) величину  $\bar{x} = 17,5$  г та піднісши отримане значення до квадрату (графа 5 *таблиці 3.49*). Значення в графі 6 *таблиці 3.49* отримані шляхом множення значень графі 4 на значення графі 5.

Таблиця 3.49 – Інтервальний варіаційний ряд розподілу маси цукерок «Ліщина»

№ групи	Межі групи, г	Середина групи $x_i$ , г	Частота $m_i$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 m_i$
I	16,8–17,0	16,9	3	0,36	1,08
II	17,0–17,2	17,1	6	0,16	0,96
III	17,2–17,4	17,3	11	0,04	0,44
IV	17,4–17,6	17,5	12	0,0	0,0
V	17,6–17,8	17,7	9	0,04	0,36
VI	17,8–18,0	17,9	5	0,16	0,80
VII	18,0–18,2	18,1	4	0,36	1,44
Всього			50	1,12	5,08

Використовуючи дані *таблиці 3.49*, обчислимо дисперсію (зважену) за виразом (3.34):

$$\sigma^2 = 5,08 / 50 = 0,1.$$

Обчислимо стандартне відхилення (зважене) за виразом (3.36):

$$\sigma = (5,08 / 50)^{0,5} = 0,32 \text{ г.}$$

Обчислимо коефіцієнт варіації за виразом (3.37):

$$V = 0,32 \cdot 100 / 17,5 = 1,8 \text{ \%}.$$

Маса цукерок «Ліщина» в сукупності, що досліджується, коливається в межах 0,32 г або на 1,8 % відносно середньої маси.

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.17.** У результаті зважування 100 буханок житнього хліба «Подільський» сформована статистична сукупність (*таблиця 3.50*). Необхідно побудувати інтервальний варіаційний ряд розподілу буханок хліба за масою та зобразити його графічно, побудувавши гістограму та полігон для відносної частоти. Обчислити показники варіації: розмах варіації, дисперсію, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації.

**Завдання 3.18.** Визначити середню арифметичну величину (просту) та середню квадратичну величину (просту) вмісту жиру в семи зразках вареної ковбаси вищого сорту. За результатами визначення вмісту жиру в зразках вареної ковбаси вищого сорту були отримані дані (%): 28,1; 26,5; 27,5; 27,7; 28,0; 27,3; 27,9.

Таблиця 3.50 – Результати зважування житнього хліба «Подільський»

Маса житнього хліба «Подільський», г									
845	850	848	855	842	853	859	847	846	849
847	853	853	850	854	858	850	865	851	839
853	836	837	857	858	850	860	859	839	850
844	847	855	843	852	854	850	845	858	840
850	851	855	859	838	861	860	861	851	847
851	856	848	843	859	862	854	844	836	857
853	835	852	855	846	837	852	854	849	849
856	861	856	864	862	863	845	846	857	844
862	842	850	845	844	846	848	857	852	849
841	851	865	854	860	850	858	863	837	864

**Завдання 3.19.** На хлібопекарське підприємство протягом року надійшло 70 партій борошна пшеничного вищого сорту. За результатами визначення вологості борошна в кожній партії сформована статистична сукупність (*таблиця 3.51*). Необхідно побудувати інтервальний варіаційний ряд розподілу партій борошна за вологістю та зобразити його графічно, побудувавши гістограму та полігон для частоти. Обчислити медіану та моду варіаційного ряду розподілу, а також показники варіації: розмах варіації, дисперсію, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації.

Таблиця 3.51 – Результати зважування житнього хліба «Подільський»

Маса житнього хліба «Подільський», г									
14,2	14,7	14,4	14,9	14,6	14,8	14,1	14,9	14,2	14,6
14,7	14,4	14,7	14,3	14,4	14,8	14,7	14,5	14,7	14,3
14,4	14,6	14,5	14,1	15,0	13,8	14,9	14,6	14,0	14,8
14,8	13,9	14,6	14,5	14,7	14,7	14,6	14,5	14,9	14,4
14,4	14,6	14,2	14,0	14,7	14,5	15,1	15,1	13,9	14,3
14,5	14,8	15,2	15,0	14,3	15,0	14,2	14,1	14,0	14,7
14,7	13,8	14,6	13,9	14,9	14,8	15,0	14,7	15,2	14,8

**Завдання 3.20.** Визначити кількість бубликів ванільних у пачці та масу кожного бублика. Побудувати інтервальний варіаційний ряд розподілу бубликів за масою та зобразити його графічно, побудувавши гістограму та полігон для відносної частоти. Обчислити показники варіації: розмах варіації, дисперсію, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації.

### 3.6 ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ. ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРЯМИХ ТА НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

Види вимірювань [95]:

- **прямі вимірювання** – величина, що вимірюється, порівнюється з одиницею вимірювання безпосередньо чи за допомогою вимірювального приладу; значення шуканої величини  $y$  визначається за допомогою співвідношення:

$$y = c \cdot x, \quad (3.38)$$

де  $y$  – шукана величина;  $c$  – ціна поділки шкали;  $x$  – показ шкали приладу;

#### Приклад 3.21

Під час вимірювання температури води в місткості ртутним термометром з ціною поділки  $1^\circ\text{C}$  показ його шкали становив 21 поділку. Отже, температура води (шукана величина):  $y = 1 \cdot 21 = 21^\circ\text{C}$ .

- **непрямі вимірювання** – шукана величина не вимірюється безпосередньо, а обчислюється за допомогою відомої функціональної залежності від інших величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , значення яких визначають прямим вимірюванням:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (3.39)$$

#### Приклад 3.22

Визначити густину вершкового масла, що сформоване в брикет. Внаслідок вимірювання встановлено: розміри брикету масла  $100 \times 75 \times 26$  мм; маса брикету масла 180 г. Отже, густина вершкового масла:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,18}{100 \cdot 75 \cdot 26 \cdot 10^{-9}} = 923 \text{ кг/м}^3.$$

Похибки вимірювань виникають внаслідок впливу на результат вимірювання неконтрольованих дослідником факторів. Відхилення результату вимірювання  $x$  від істинного значення величини  $x_0$ , що вимірюється, називається **абсолютною похибкою**:

$$\Delta x = |x - x_0|. \quad (3.40)$$

Відношення абсолютної похибки вимірювання до істинного значення величини, що вимірюється, називається **відносною похибкою**:

$$\delta x = |\Delta x| / x_0. \quad (3.41)$$

Класи похибок вимірювань [95]:

- **систематичні** – ці похибки залишаються постійними або змінюються закономірно протягом серії вимірювань за однакових контрольованих умов та виникають внаслідок похибки приладів, похибки заокруглення результатів та похибки методу дослідження;

#### Приклад 3.23

Шкала ареометра, зміщена на  $1 \text{ кг/м}^3$ , спричиняє систематичну похибку.

- **випадкові** – ці похибки змінюється випадковим чином в серії вимірювань, які проведені за однакових контрольованих умов;

### Приклад 3.24

Флуктуації температури повітря під час проведення серії вимірювань є тим фактором, що може зумовити випадкові похибки вимірювань.

- **промахи** – ці помилки виникають внаслідок несправності приладів, неправильного зчитуванням результатів, різкої зміни умов вимірювання тощо.

#### Етапи оброблення результатів прямих вимірювань [95]:

- нехай в однакових умовах виконано серію з  $n$  вимірювань деякої фізичної величини  $x$  та отримано значення  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ;
- за оцінку істинного значення величини  $x$  приймаємо середнє арифметичне значення  $\bar{x}$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.42)$$

де  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення величини  $x$ ;  $x_i$  – значення  $i$ -го вимірювання величини  $x$ ;  $n$  – кількість вимірювань;

- визначення абсолютної похибки окремих вимірювань:

$$\Delta x_i = |x_i - \bar{x}|, \quad (3.43)$$

- визначення випадкової похибки середнього арифметичного (середньоквадратичної похибки середнього арифметичного)  $S_{\bar{x}}$  та довірчого інтервалу  $\Delta_{\text{вип.}}$  для випадкової похибки середнього арифметичного значення  $\bar{x}$ :

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.44)$$

$$\Delta_{\text{вип.}} = t_m \cdot S_{\bar{x}}, \quad (3.45)$$

де  $\Delta_{\text{вип.}}$  – **довірчий інтервал** (довірчі межі) випадкової похибки – це інтервал  $[\bar{x} - \Delta_{\text{вип.}}, \bar{x} + \Delta_{\text{вип.}}]$ , в межах якого із заданою **довірчою ймовірністю**  $p = 1 - \alpha$  перебуває значення випадкової величини  $x$  (довірча ймовірність  $p = 0,99$  означає, що похибка оцінювання в 99 випадках

із 100 не перевищить встановленої величини і лише в 1 випадку із 100 може досягнути або перевищити її);  $t_m$  – табличне значення коефіцієнта Стьюдента для вибраного дослідником значення **рівня значущості**  $\alpha$  (рівень значущості характеризує відносне число хибних висновків у загальній кількості висновків) та числа ступенів вільності  $f = n - 1$  (**Додаток Б**);

### Приклад 3.25

Дослідником проведено з використанням термометра серію із  $n = 7$  прямих вимірювань температури  $T$  м'яса (яловичина) під час смаження та отримано результати ( $^{\circ}\text{C}$ ): 65,0; 65,2; 65,1; 64,9; 65,3; 65,2; 65,3. Довірча ймовірність прийнята  $p = 0,95$ . Необхідно визначити довірчий інтервал.

Обчислимо середнє арифметичне значення за виразом (3.42):

$$\bar{x} = \frac{65 + 65,2 + 65,1 + 64,9 + 65,3 + 65,2 + 65,3}{7} = 65,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Визначимо абсолютну похибку окремих вимірювань (3.43):

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= |65,0 - 65,1| = 0,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}; \\ \Delta x_2 &= |65,2 - 65,1| = 0,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}; \\ \Delta x_3 &= |65,1 - 65,1| = 0,0 \text{ } ^{\circ}\text{C}; \\ \Delta x_4 &= |64,9 - 65,1| = 0,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}; \\ \Delta x_5 &= |65,3 - 65,1| = 0,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}; \\ \Delta x_6 &= |65,2 - 65,1| = 0,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}; \\ \Delta x_7 &= |65,3 - 65,1| = 0,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Обчислимо середньоквадратичну похибку середнього арифметичного за виразом (3.44):

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{(-0,1)^2 + 0,1^2 + 0^2 + (-0,2)^2 + 0,2^2 + 0,1^2 + 0,2^2}{7 \cdot (7 - 1)}} = 0,08 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Для прийнятого рівня значущості  $\alpha = 0,05$  ( $p = 0,95$ ) та числа ступенів вільності  $f = 7 - 1 = 6$  визначимо табличне значення критерію Стьюдента  $t_m = 2,45$  (**Додаток Б**). Обчислимо довірчий інтервал за виразом (3.45):

$$\Delta_{\text{вип.}} = 2,45 \cdot 0,08 = 0,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Отже, внаслідок обчислень отримали довірчий інтервал (без врахування систематичної похибки) для температури м'яса:

$$T = 65,1 \pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}, (p = 0,95).$$

- визначення довірчого інтервалу  $\Delta_{\text{сис.}}$  із врахуванням лише систематичних похибок (похибки приладу, похибки заокруглення, суб'єктивної похибки, похибки методу):

$$\sigma_{\text{сис.}} = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_z^2 + \sigma_c^2 + \sigma_m^2}, \quad (3.46)$$

$$\sigma_n \approx \frac{\Delta_{\text{зр.}}}{3} = \frac{k_m x_{\text{max}}}{3 \cdot 100}, \quad (3.47)$$

$$\sigma_z = 0,5 p \omega, \quad (3.48)$$

$$\Delta_{\text{сис.}} = \gamma_p \cdot \sigma_{\text{сис.}}, \quad (3.49)$$

$$\gamma_p = \frac{1}{\sqrt{1-p}}, \quad (3.50)$$

де  $\sigma_{\text{сис.}}$  – стандартне відхилення для систематичної похибки;  $\sigma_n$  – стандартне відхилення для оцінювання похибки приладу;  $\sigma_z$  – стандартне відхилення для оцінювання похибки заокруглення;  $\sigma_c$  – стандартне відхилення для оцінювання суб'єктивної похибки;  $\sigma_m$  – стандартне відхилення для оцінювання похибки методу;  $\Delta_{\text{зр.}}$  – гранична похибка приладу (максимально допустима для цього класу приладів);  $k_m$  – клас точності приладу;  $x_{\text{max}}$  – максимальне (номінальне) значення величини, яке вимірюється цим приладом;  $\omega$  – ціна найменшої поділки шкали приладу;  $p$  – довірча ймовірність;  $\gamma_p$  – коефіцієнт Чебишева;

### Приклад 3.26

Дослідником проведено з використанням термометра серію із  $n=7$  прямих вимірювань температури  $T$  м'яса (яловичина) під час смаження та за результатами обчислень визначено середнє арифметичне значення температури  $65,1 \text{ } ^\circ\text{C}$  (див. **приклад 3.25**).

Гранична похибка термометра  $\Delta_{\text{зр.}} = \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Ціна поділки термометра  $\omega = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Довірча ймовірність  $p = 0,95$ . Визначити систематичні похибки досліджень (похибку термометра  $\sigma_n$ , похибку заокруглення  $\sigma_z$ ).

Суб'єктивну похибку  $\sigma_c$  та похибку методу  $\sigma_m$  не визначати.

Обчислимо стандартне відхилення для похибки приладу за (3.47):

$$\sigma_n \approx 0,1 / 3 = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Обчислимо стандартне відхилення для похибки заокруглення за (3.48):

$$\sigma_z = 0,5 \cdot 0,95 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Обчислимо стандартне відхилення для систематичної похибки за (3.49):

$$\sigma_{\text{сис.}} = (0,03^2 + 0,05^2)^{0,5} = 0,06 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Обчислимо коефіцієнт Чебишева за виразом (3.50):

$$\gamma_p = 1 \cdot (1 - 0,95)^{-0,5} = 4,47.$$

Обчислимо довірчий інтервал за виразом (3.49):

$$\Delta_{\text{сис.}} = 4,47 \cdot 0,06 = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Отже, внаслідок обчислень отримали довірчий інтервал (з урахуванням лише систематичної похибки) для температури м'яса:

$$T = 65,1 \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}, (p = 0,95);$$

- визначення довірчого інтервалу  $\Delta_{\text{заг.}}$  з урахуванням випадкової та систематичної похибок:

$$\sigma_{\text{заг.}} = \sqrt{S_x^2 + \sigma_{\text{сис.}}^2}, \quad (3.51)$$

$$\Delta_{\text{заг.}} = \gamma_p \cdot \sigma_{\text{заг.}}, \quad (3.52)$$

де  $\sigma_{\text{заг.}}$  – стандартне відхилення для загальної похибки;  $\Delta_{\text{заг.}}$  – довірчий інтервал з урахуванням загальної (випадкової та систематичної) похибки.

### Приклад 3.27

Дослідником проведено із використанням термометра серію із  $n=7$  прямих вимірювань температури  $T$  м'яса (яловичина) під час смаження та за результатами обчислень визначені (див. **приклад 3.25** та **3.26**): середнє арифметичне значення температури  $65,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; середньоквадратична похибка середнього арифметичного  $S_x = 0,08 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; стандартне відхилення для систематичної похибки  $\sigma_{\text{сис.}} = 0,06 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

Обчислимо стандартне відхилення для загальної похибки за (3.51):

$$\sigma_{\text{заг.}} = (0,08^2 + 0,06^2)^{0,5} = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Обчислимо довірчий інтервал з урахуванням загальної похибки за виразом (3.52), ураховуючи, що  $\gamma_p = 4,47$  (див. **приклад 3.26**):

$$\Delta_{заг.} = 4,47 \cdot 0,1 = 0,44 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Отже, внаслідок обчислень отримали довірчий інтервал для температури м'яса з урахування випадкових та систематичних похибок:

$$T = 65,1 \pm 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}, (p = 0,95).$$

Результат вимірювань заокруглюють таким чином, щоб числове значення закінчувалося цифрою того ж розряду, що значення похибки.

### Приклад 3.28

$E = 7,35 \pm 0,7$  (неправильно) –  $E = 7,4 \pm 0,7$  (правильно);

$E = 8,76 \pm 0,17$  (правильно);

$E = 218,7 \pm 70$  (неправильно) –  $E = (22 \pm 7) \cdot 10$  (правильно).

Для вираження більших або менших значень однієї фізичної величини використовують **десяткові кратні** та **частинні одиниці**. Кратна одиниця у ціле число разів більша за одиницю, від якої вона утворюється, а частинна – у ціле число разів менша за одиницю, від якої вона утворена [96]. Ці одиниці утворені за допомогою множників, а їхні назви та позначення утворені з назв та позначень вихідних одиниць за допомогою відповідних префіксів. Позначення цих одиниць згідно з ДСТУ 3651.0:97 [96] подані в **таблиці 3.52**.

Таблиця 3.52 – Множники, префікси та їхні позначення для кратних і частинних одиниць системи SI

Множник	Префікс	Позначення	
		українське	міжнародне
1	2	3	4
$10^{24}$	йота	Й	Y
$10^{21}$	зета	ЗТ	Z
$10^{18}$	екса	Е	E
$10^{15}$	пета	П	P
$10^{12}$	тера	Т	T
$10^9$	гіга	Г	G
$10^6$	мега	М	M
$10^3$	кіло	к	k

Закінчення таблиці 3.52

1	2	3	4
$10^2$	гекто	г	h
10	дека	да	da
$10^{-1}$	деци	д	d
$10^{-2}$	санти	с	c
$10^{-3}$	мілі	м	m
$10^{-6}$	мікро	мк	μ
$10^{-9}$	нано	н	n
$10^{-12}$	піко	п	p
$10^{-15}$	фемто	ф	f
$10^{-18}$	ато	а	a
$10^{-21}$	зепто	зп	z
$10^{-24}$	йокто	й	y

Джерело інформації: [96]

### Приклад 3.29

$1 \text{ см}^3$  можна записати  $10^{-6} \text{ м}^3$ ;

$0,004 \text{ м}$  можна записати  $4 \text{ мм}$ ;

$5200 \text{ Па}$  можна записати  $5,2 \text{ кПа}$ ;

$4,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$  можна записати  $420 \text{ мкс}$ .

За непрямих вимірювань значення шуканої величини у знаходиться внаслідок її обчислення за результатами прямих вимірювань інших величин  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

**Етапи оброблення результатів непрямих вимірювань** [95, 97]:

- проведення вимірювань величин  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , що містяться у виразі для обчислення шуканої величини  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;
- обчислення середніх арифметичне значення  $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$  усіх величин, що вимірюються, та їх абсолютних похибок  $(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n)$ ; при цьому для всіх вимірюваних величин значення довірчої ймовірності  $p$  необхідно вважати однаковими;
- обчислення середнього значення шуканої величини:

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n); \quad (3.53)$$

- знаходження частинних похідних від функції  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;

- обчислення абсолютної похибки за виразом:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right)^2} \Delta x_i^2, \quad (3.54)$$

де  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  – частинна похідна від функції  $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  за  $x_i$ ;

$\Delta x_i$  – абсолютна похибка величини  $x_i$ , що отримана внаслідок обчислення за результатами її прямого вимірювання;

- обчислення відносної похибки за виразом:

$$\delta y = \frac{\Delta y}{\bar{y}}; \quad (3.55)$$

- запис результату вимірювання у вигляді:

$$y = \bar{y} \pm \Delta y, (\delta y); \quad (3.56)$$

• урахуваючи, що  $\Delta x_i$  малі, мають однакову довірчу ймовірність  $p$  та значення частинних похідних визначають за середніх значень величин, обчислення відносної похибки можна також проводити за виразом:

$$\delta y = \frac{\Delta y}{|f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)|} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial \ln f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right)^2} \Delta x_i^2; \quad (3.57)$$

- обчислення абсолютної похибки за значенням  $\delta y$ :

$$\Delta y = |f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)| \cdot \delta y. \quad (3.58)$$

### Приклад 3.30

Для заданої функції  $y=f(x_1, x_2, x_3)$  оцінити похибку обчислення, якщо:

$$f(x_1, x_2, x_3) = \frac{x_1^3 x_3^2}{x_2}; \quad x_1 = 2,32 \pm 0,03; \quad x_2 = 1,78 \pm 0,04; \quad x_3 = 5,74 \pm 0,02.$$

#### Спосіб 1

Обчислимо середнє значення заданої функції:

$$f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) = \frac{\bar{x}_1^3 \bar{x}_3^2}{\bar{x}_2} = \frac{2,32^3 \cdot 5,74^2}{1,78} = 231,14;$$

Знайдемо частинні похідні від заданої функції:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = \frac{3x_1^2 x_3^2}{x_2}; \quad \frac{\partial y}{\partial x_2} = -\frac{x_1^3 x_3^2}{x_2^2}; \quad \frac{\partial y}{\partial x_3} = \frac{2x_1^3 x_3}{x_2}.$$

Обчислимо абсолютну похибку за виразом (3.54):

$$\begin{aligned} \Delta y &= \sqrt{\left( \frac{3x_1^2 x_3^2}{x_2} \right)^2 \Delta x_1^2 + \left( -\frac{x_1^3 x_3^2}{x_2^2} \right)^2 \Delta x_2^2 + \left( \frac{2x_1^3 x_3}{x_2} \right)^2 \Delta x_3^2} = \\ &= \sqrt{\left( \frac{3 \cdot 2,32^2 \cdot 5,74^2}{1,78} \right)^2 \cdot 0,03^2 + \left( \frac{-2,32^3 \cdot 5,74^2}{1,78^2} \right)^2 \cdot 0,04^2 + \left( \frac{2 \cdot 2,32^3 \cdot 5,74}{1,78} \right)^2 \cdot 0,02^2} = \\ &= 10,4. \end{aligned}$$

Обчислимо відносну похибку за виразом (3.55):

$$\delta y = 10,4 / 231,1 = 0,045, \text{ тобто } \delta y = 4,5 \%.$$

Отже,  $y = 231,1 \pm 10,4$  при  $\delta y = 4,5 \%$ .

#### Спосіб 2

Прологарифмуємо задану функцію  $y$ :

$$\ln y = 3 \ln x_1 + 2 \ln x_3 - \ln x_2.$$

Знайдемо частинні похідні:

$$\frac{\partial \ln y}{\partial x_1} = \frac{3}{x_1}; \quad \frac{\partial \ln y}{\partial x_2} = -\frac{1}{x_2}; \quad \frac{\partial \ln y}{\partial x_3} = \frac{2}{x_3}.$$

Обчислимо відносну похибку за виразом (3.57):

$$\begin{aligned} \delta y &= \sqrt{\left( \frac{3}{x_1} \right)^2 \Delta x_1^2 + \left( -\frac{1}{x_2} \right)^2 \Delta x_2^2 + \left( \frac{2}{x_3} \right)^2 \Delta x_3^2} = \\ &= \sqrt{\left( \frac{3}{2,32} \right)^2 \cdot 0,03^2 + \left( -\frac{1}{1,78} \right)^2 \cdot 0,04^2 + \left( \frac{2}{5,74} \right)^2 \cdot 0,02^2} = 0,045, \end{aligned}$$

тобто  $\delta y = 4,5 \%$ .

Обчислимо середнє значення заданої функції:

$$f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) = \frac{x_1^3 x_2^2}{x_3} = \frac{2,32^3 \cdot 5,74^2}{1,78} = 231,1.$$

Обчислимо абсолютну похибку за виразом (3.58):

$$\Delta y = |f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)| \cdot \delta y = 231,14 \cdot 0,045 = 10,4.$$

Отже,  $y = 231,1 \pm 10,4$  при  $\delta y = 4,5\%$ .

### Приклад 3.31

Обчислити похибку під час визначення густини вершкового масла, яке сформоване в брикеті. Внаслідок вимірювання встановлені розміри брикетів масла та маси брикетів: довжина брикету  $l = (100,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$  м; ширина брикету  $s = (75,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$  м; висота брикету  $h = (26,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$  м; маса брикету  $m = (180 \pm 2) \cdot 10^{-3}$  кг.

Вираз для обчислення густини вершкового масла в брикеті:

$$\rho = \frac{m}{lsh} \text{ [кг/м}^3\text{]}.$$

### Спосіб 1

Обчислимо середнє значення заданої функції:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{l}\bar{s}\bar{h}} = \frac{180 \cdot 10^{-3}}{100,3 \cdot 75,5 \cdot 26,3 \cdot 10^{-9}} = 903,8 \text{ кг/м}^3.$$

Знайдемо частинні похідні від заданої функції:

$$\frac{\partial \rho}{\partial m} = \frac{1}{lsh}; \quad \frac{\partial \rho}{\partial l} = \frac{-m}{l^2 sh}; \quad \frac{\partial \rho}{\partial s} = \frac{-m}{ls^2 h}; \quad \frac{\partial \rho}{\partial h} = \frac{-m}{lsh^2}.$$

Обчислимо абсолютну похибку за виразом (3.54):

$$\begin{aligned} \Delta \rho &= \sqrt{\left(\frac{1}{lsh}\right)^2 \Delta m^2 + \left(\frac{-m}{l^2 sh}\right)^2 \Delta l^2 + \left(\frac{-m}{ls^2 h}\right)^2 \Delta s^2 + \left(\frac{-m}{lsh^2}\right)^2 \Delta h^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{100,3 \cdot 75,5 \cdot 26,3 \cdot 10^{-9}}\right)^2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 + \left(\frac{-180 \cdot 10^{-3}}{100,3^2 \cdot 75,5 \cdot 26,3 \cdot 10^{-12}}\right)^2 \cdot (0,2 \cdot 10^{-3})^2 +} \\ &\quad + \left(\frac{-180 \cdot 10^{-3}}{100,3 \cdot 75,5^2 \cdot 26,3 \cdot 10^{-12}}\right)^2 \cdot (0,1 \cdot 10^{-3})^2 + \left(\frac{-180 \cdot 10^{-3}}{100,3 \cdot 75,5 \cdot 26,3^2 \cdot 10^{-12}}\right)^2 \cdot (0,2 \cdot 10^{-3})^2} \\ &= 12 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Обчислимо відносну похибку за виразом (3.55):

$$\delta \rho = \frac{\Delta \rho}{\bar{\rho}} = \frac{12,4}{903,8} = 0,014, \text{ тобто } \delta \rho = 1,4\%.$$

Отже, густина вершкового масла у брикеті  $\rho = 903,8 \pm 12,4$  кг/м<sup>3</sup> за  $\delta \rho = 1,4\%$ .

### Спосіб 2

Прологарифмуємо задану функцію  $\rho$ :

$$\ln \rho = \ln m - \ln l - \ln s - \ln h.$$

Знайдемо частинні похідні:

$$\frac{\partial \ln \rho}{\partial m} = \frac{1}{m}; \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial l} = -\frac{1}{l}; \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial s} = -\frac{1}{s}; \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial h} = -\frac{1}{h}.$$

Обчислимо відносну похибку за виразом (3.57):

$$\begin{aligned} \delta \rho &= \sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)^2 \Delta m^2 + \left(-\frac{1}{l}\right)^2 \Delta l^2 + \left(-\frac{1}{s}\right)^2 \Delta s^2 + \left(-\frac{1}{h}\right)^2 \Delta h^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{180 \cdot 10^{-3}}\right)^2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 + \left(-\frac{1}{100,3 \cdot 10^{-3}}\right)^2 \cdot (0,2 \cdot 10^{-3})^2 +} \\ &\quad + \left(-\frac{1}{75,5 \cdot 10^{-3}}\right)^2 \cdot (0,1 \cdot 10^{-3})^2 + \left(-\frac{1}{26,3 \cdot 10^{-3}}\right)^2 \cdot (0,2 \cdot 10^{-3})^2} \\ &= 0,0137, \text{ тобто } \delta \rho = 1,4\%. \end{aligned}$$

Обчислимо середнє значення густини вершкового масла:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{l}\bar{s}\bar{h}} = \frac{180 \cdot 10^{-3}}{100,3 \cdot 75,5 \cdot 26,3 \cdot 10^{-9}} = 903,8 \text{ кг/м}^3.$$

Обчислимо абсолютну похибку за виразом (3.58):

$$\Delta \rho = \bar{\rho} \cdot \delta \rho = 903,8 \cdot 0,0137 = 12,4 \text{ кг/м}^3.$$

Отже, густина вершкового масла в брикеті  $\rho = 903,8 \pm 12,4$  кг/м<sup>3</sup> за  $\delta \rho = 1,4\%$ .

### Етапи перевірення результатів вимірювань на промах:

- задається рівень значущості  $\alpha$ , тобто ймовірністю того, що сумнівний результат (промах) дійсно міг мати місце ( $\alpha$  можна вибрати рівним 0,01; 0,02; 0,05 або 0,1);
- для найбільшого  $x_{\max}$  та найменшого  $x_{\min}$  значень вимірювань обчислюється критерій Граббса (використовується для нормального розподілу результатів вимірювань):

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{S_x}, \quad G_2 = \frac{|x_{\min} - \bar{x}|}{S_x}, \quad (3.59)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.60)$$

де  $G_1, G_2$  – обчислені значення критерію Граббса;  $x_{\max}, x_{\min}$  – найбільше та найменше значення вимірювань;  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення вимірювань;  $S_x$  – стандартне відхилення;

- обчислені значення критерію Граббса  $G_1$  і  $G_2$  порівнюються з табличним значенням  $G_m$  (**Додаток В**) для вибраного рівня значущості  $\alpha$ : якщо  $G_1 > G_m$ , то значення вимірювань  $x_{\max}$  – це промах; якщо  $G_2 > G_m$ , то значення  $x_{\min}$  – це промах.

### Приклад 3.32

Під час сушіння фруктових чипсів температура сушильного агента становила ( $^{\circ}\text{C}$ ): 72,3; 72,6; 72,5; 72,4; 72,5; 68,1; 72,4; 72,6; 72,7; 72,5; 72,5; 72,5. Перевіримо результати вимірювання температури на промах. Максимальне і мінімальне значення температури:  $x_{\max} = 72,7^{\circ}\text{C}$ ,  $x_{\min} = 68,1^{\circ}\text{C}$ .

Обчислимо середнє арифметичне значення вимірювань температури за виразом (3.42):

$$\bar{x} = \frac{865,6}{12} = 72,1^{\circ}\text{C}.$$

Обчислимо стандартне відхилення за виразом (3.60):

$$S_x = \sqrt{\frac{0,2^2 + 0,5^2 + 0,4^2 + 0,3^2 + 0,4^2 + 4^2 + 0,3^2 + 0,5^2 + 0,6^2 + 0,4^2 + 0,4^2}{12-1}} = 1,27.$$

Обчислимо значення критерію Граббса за виразами (3.59):

$$G_1 = \frac{|72,7 - 72,1|}{1,27} = 0,47, \quad G_2 = \frac{|68,1 - 72,1|}{1,27} = 3,15.$$

Обчислені значення критерію Граббса  $G_1 = 0,47$  та  $G_2 = 3,15$  порівняємо з табличним значенням  $G_m = 2,412$  за рівня значущості  $\alpha = 0,05$  і кількості вимірювань  $n = 12$  (**Додаток В**). Оскільки  $G_1 = 0,47 < G_m = 2,412$ , то значення температури сушильного агента  $x_{\max} = 72,7^{\circ}\text{C}$  не є промахом. Значення температури сушильного агента  $x_{\min} = 68,1^{\circ}\text{C}$  є промахом, оскільки виконується умова  $G_2 = 3,15 > G_m = 2,412$ .

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.21.** Дослідником проведено з використанням рН-метра серію із  $n = 10$  прямих вимірювань водневого показника (показника рН) соку яблучного та отримано результати (рН): 3,51; 3,56; 3,49; 3,52; 3,50; 3,52; 3,54; 3,55; 3,56; 3,55. Довірча ймовірність прийнята  $p = 0,95$ . Необхідно визначити довірчий інтервал (без врахування систематичної похибки) для водневого показника соку яблучного.

**Завдання 3.22.** Дослідником проведено з використанням спиртового ареометра АСП-3 40–70 % серію із  $n = 10$  прямих вимірювань об'ємної частки етилового спирту в алкогольному напої та отримано результати (% об.): 41,5; 41,2; 41,5; 41,5; 41,3; 41,6; 41,4; 41,5; 41,4; 41,6. Гранічна похибка спиртового ареометра  $\Delta_{sp} = \pm 0,5$  % об. Ціна поділки спиртового ареометра  $\omega = 1$  % об. Довірча ймовірність  $p = 0,95$ . Необхідно визначити довірчий інтервал для об'ємної частки етилового спирту в алкогольному напої з урахування випадкових та систематичних похибок (похибки термометра та похибки заокруглення).

**Завдання 3.23.** Обчислити похибку визначення відносної вологості зерна пшениці. Дослідником визначені маса наважки зерна пшениці до сушіння  $m_1 = 12,3 \pm 0,2$  г та маса наважки зерна пшениці після сушіння в сушильній шафі згідно з прийнятою методикою  $m_2 = 10,6 \pm 0,3$  г.

Вираз для обчислення відносної вологості зерна пшениці:

$$W = \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) \cdot 100\%.$$

**Завдання 3.24.** Обчислити похибку визначення стійкості емульсії майонезу. Дослідником визначені згідно з прийнятою методикою об'єм проби майонезу  $V_1 = 10,4 \pm 0,1 \text{ см}^3$  та об'єм незруйнованої емульсії майонезу  $V_2 = 10,2 \pm 0,1 \text{ см}^3$ .

Вираз для обчислення стійкості емульсії майонезу:

$$X_{\text{ем.}} = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100 \%$$

**Завдання 3.25.** Обчислити похибку визначення пористості пшеничного хліба першого сорту. Дослідником визначені згідно з прийнятою методикою розміри циліндра, що використовується для отримання виїмки м'якушки хліба: внутрішній діаметр циліндра  $d = 3,04 \pm 0,02 \text{ см}$ ; довжина циліндра на яку проводиться виїмка м'якушки  $h = 3,83 \pm 0,03 \text{ см}$ . Маса виїмок м'якушки хліба  $m = 10,6 \pm 0,3 \text{ г}$ . Щільність безпористої маси м'якушки пшеничного хліба першого сорту приймається  $\rho = 1,31 \text{ кг/см}^3$ .

Об'єм виїмки хліба обчислюється за виразом:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}$$

Вираз для обчислення пористості пшеничного хліба першого сорту:

$$\varepsilon_{\text{пор.}} = \left(1 - \frac{m}{\rho V}\right) \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{4m}{4,11d^2 h}\right) \cdot 100 \%$$

**Завдання 3.26.** Результати зважування 40 цукерок «Червоний мак» подані в **таблиці 3.53**. Необхідно перевірити результати визначення маси цукерок на наявність промаху. Обчислення провести для рівнів значущості  $\alpha = 0,05$  та  $\alpha = 0,01$ .

Таблиця 3.53 – Результати зважування цукерок «Червоний мак»

Маса цукерок «Червоний мак», г									
12,9	13,0	12,6	13,2	13,0	13,0	13,2	13,0	12,8	13,0
13,1	13,1	12,9	12,8	13,4	12,1	12,9	12,7	13,1	13,2
12,8	13,0	13,3	13,1	12,9	13,1	13,0	13,1	13,0	12,9
13,2	13,1	12,8	13,0	13,0	12,9	13,0	12,7	13,3	12,9

### 3.7 ПЕРЕВІРЯННЯ СТАТИСТИЧНИХ ГІПОТЕЗ

**Статистична гіпотеза ( $H$ )** – це припущення відносно параметрів або форми розподілу генеральної сукупності, яке перевіряється на основі даних вибіркового спостереження [93]. Під час перевіряння встановлюють узгодженість даних спостереження з висунутою гіпотезою. За результатами перевіряння гіпотеза приймається або відхиляється. Найчастіше перевіряється гіпотеза про те, що одержана за вибіркою величина незначно відрізняється від гіпотетичної. Для перевіряння цього висувається гіпотеза про те, що істинна різниця між фактичними і гіпотетичними показниками дорівнює нулю. Тому така **гіпотеза** називається **нульовою  $H_0$** . У кожному випадку нульовій гіпотезі протиставляється **альтернативна гіпотеза ( $H_a$ )**, яка заперечує нульову гіпотезу [93].

Для перевіряння нульової гіпотези використовуються спеціальні **статистичні критерії**:  $t$ -критерій нормального розподілу і розподілу Стьюдента;  $F$ -критерій Фішера – Снедекора;  $\chi^2$  (хі-квадрат критерій) розподілу Пірсона тощо. Якщо фактичне значення критерію потрапляє в критичну область, то  $H_0$  відхиляється, якщо ж фактичне значення критерію належить до області допустимих значень, то гіпотеза  $H_0$  приймається. Для кожного критерію складені таблиці, за якими визначають їхні табличні значення, які порівнюють з фактичними значеннями критеріїв, що обчислені за даними вибірки. Якщо фактичне значення критерію є більшим від табличного, то нульову гіпотезу відхиляють і приймають альтернативну гіпотезу. Якщо фактичне значення критерію менше або рівне табличному, то нульову гіпотезу приймають [93].

#### Приклад 3.33

Перевірити гіпотезу щодо рівності середніх двох незалежних вибірок (чисельність вибірок  $n_1 \neq n_2$ , дисперсії  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ). Під час перевіряння якості пшениці двох сортів (Подолька і Смулянка), що надійшла на борошномельне підприємство, за показником засміченості порівнювали зразки масою 1 кг (**таблиця 3.54**). Необхідно визначити, чи відрізняється істотно засміченість двох сортів пшениці. Для розв'язання задачі перевіримо гіпотезу щодо істотності відмінностей між двома середніми в генеральних сукупностях.

За умовою задачі обидві вибірки взяті із нормально розподілених генеральних сукупностей з однаковою дисперсією. Вибірки незалежні. Чисельність вибірок різна ( $n_1 \neq n_2$ ).

Таблиця 3.54 – Засміченість двох сортів пшениці

Сорт пшениці	Засміченість зразків пшениці, %					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Подольянка	2,6	2,7	2,5	2,8	3,0	2,6
Смуглянка	2,7	2,5	2,6	2,6	–	–

Обчислимо вибіркві середні за двома вибірками:

- для сорту «Подольянка»:

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

- для сорту «Смуглянка»:

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

Різниця середніх:

$$\varepsilon_{\text{факт.}} = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| = 2,7 - 2,6 = 0,1 \text{ \%}.$$

Істотність цієї різниці повинна бути оцінена.

Сформулюємо нульову та альтернативну гіпотези:

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2; H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2.$$

За цього формулювання альтернативної гіпотези потрібно використовувати двосторонній критерій. Рівень значущості приймаємо рівним  $\alpha = 0,05$ . За критерій для перевіряння висунутої нульової гіпотези візьмемо  $t$ -критерій Стьюдента. Обчислимо скореговані за двома вибірками дисперсії, використовуючи спрощену формулу:

- для сорту «Подольянка»:

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_{1i}^2 - n_1 \bar{x}_1^2}{n_1 - 1} = \frac{2,6^2 + 2,7^2 + 2,5^2 + 2,8^2 + 3,0^2 + 2,6^2 - 6 \cdot 2,7^2}{6 - 1} = 0,032;$$

- для сорту «Смуглянка»:

$$S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}^2 - n_2 \bar{x}_2^2}{n_2 - 1} = \frac{2,7^2 + 2,5^2 + 2,6^2 + 2,6^2 - 4 \cdot 2,6^2}{4 - 1} = 0,006.$$

Обчислимо загальну помилку двох вибірквіх середніх з урахуванням, що  $n_1 \neq n_2$ :

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_{1-2} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_{1i}^2 - n_1 \bar{x}_1^2 + \sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}^2 - n_2 \bar{x}_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}} \cdot \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2} = \\ &= \sqrt{\frac{0,16 + 0,02}{(6 - 1) + (4 - 1)}} \cdot \frac{6 + 4}{6 \cdot 4} = 0,097 \text{ \%}. \end{aligned}$$

Обчислимо фактичне значення  $t$ -критерій Стьюдента:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\bar{\mu}_{1-2}} = \frac{0,1}{0,097} = 1,03.$$

Визначимо табличне значення  $t$ -критерій Стьюдента за рівня значущості  $\alpha = 0,05$  і загального числа ступенів вільності для двох вибірок (**Додаток Б**):

$$\begin{aligned} f &= (n_1 - 1) + (n_2 - 1) = (6 - 1) + (4 - 1) = 8; \\ t_m &= 2,31. \end{aligned}$$

Порівняємо фактичне та табличне значення  $t$ -критерій Стьюдента:

$$\begin{aligned} t &< t_m; \\ 1,03 &< 2,31. \end{aligned}$$

Оскільки  $t < t_m$ , то можна зробити висновок про те, що фактичні дані узгоджуються з висунутою нульовою гіпотезою. Тому приймаємо  $H_0$ , тобто засміченість зерна у генеральних сукупностях істотно не відрізняється.

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

Можлива гранична помилка різниці середніх за двома вибірками:

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

Порівняємо можливу граничну помилку різниці середніх з фактичною різницею середніх:

$$\varepsilon_{0,05} = 0,224 > \varepsilon_{\text{факт.}} = 0,1.$$

Оскільки умова виконується, то нульова гіпотеза щодо рівності середніх у генеральних сукупностях приймається.

### Приклад 3.34

Перевірити статистичну гіпотезу щодо рівності середніх двох незалежних вибірок з нерівними дисперсіями ( $n_1=n_2$ ;  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ). Під час дослідження порівнювали масову частку вологи в глазурованих цукровою глазур'ю кукурудзяних пластівцях від двох виробників. Для цього було відібрано по 6 зразків продукції від двох виробників. Результати визначення масової частки вологи в пластівцях подані в **таблиці 3.55**. Необхідно статистично оцінити істотність різниці середньої масової частки вологи у двох вибірках. Приймаємо, що вибірки отримані із нормально розподілених генеральних сукупностей з нерівними дисперсіями  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ . Вибірки незалежні та мають однакову чисельність  $n_1 = n_2$ .

Таблиця 3.55 – Масова частка вологи в глазурованих кукурудзяних пластівцях від двох виробників

Виробники кукурудзяних пластівців	Масова частка вологи в зразках пластівців, %					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Виробник А	6,8	6,6	6,7	6,9	6,7	6,5
Виробник Б	7,0	5,8	6,1	6,6	6,8	6,7

Обчислимо для двох вибірок середні:

- для пластівців виробника А:

$$\tilde{x}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{1i}}{n_1} = \frac{40,2}{6} = 6,7\%;$$

- для пластівців виробника Б:

$$\tilde{x}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}}{n_2} = \frac{39}{6} = 6,5\%.$$

Обчислимо вибіркові дисперсії:

- для пластівців виробника А:

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_{1i}^2 - n_1 \tilde{x}_1^2}{n_1 - 1} = \frac{6,8^2 + 6,6^2 + 6,7^2 + 6,9^2 + 6,7^2 + 6,5^2 - 6 \cdot 6,7^2}{6 - 1} = 0,02;$$

- для пластівців виробника Б:

$$S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}^2 - n_2 \tilde{x}_2^2}{n_2 - 1} = \frac{7^2 + 5,8^2 + 6,1^2 + 6,6^2 + 6,8^2 + 6,7^2 - 6 \cdot 6,5^2}{6 - 1} = 0,21.$$

Перевіримо істотність відмінностей між дисперсіями двох вибірок. Для цього сформулюємо нульову  $H_0$  та альтернативну  $H_a$  гіпотези:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 ; H_a : \sigma_2^2 > \sigma_1^2 .$$

Обчислимо фактичне дисперсійне відношення:

$$F_{\text{факт.}} = \frac{S_2^2}{S_1^2} = \frac{0,21}{0,02} = 10,5, \text{ оскільки } S_2^2 > S_1^2 \text{ (більше значення в чисельнику).}$$

Визначимо табличне значення дисперсійного відношення за рівня значущості  $\alpha=0,05$  та числа ступенів вільності:

$$f_1 = n_1 - 1 = 6 - 1 = 5; f_2 = n_2 - 1 = 6 - 1 = 5;$$

$$F_m = 5,05 \text{ (див. Додаток Г).}$$

Порівняємо фактичне та табличне значення критерію Фішера  $F$ :

$$F_{\text{факт.}} = 10,5 > F_m = 5,05.$$

Отже, відмінність між дисперсіями істотна.

Перевіримо гіпотезу щодо рівності середніх у генеральних сукупностях. Для цього сформулюємо нульову  $H_0$  та альтернативну  $H_a$  гіпотези:

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2 ; H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2 ;$$

за  $n_1 = n_2$ ;  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ;  $\alpha=0,05$ .

Для перевіряння нульової гіпотези  $H_0$  використаємо  $t$ -критерій Стьюдента. Обчислимо узагальнену помилку різниці середніх для двох вибірок:

$$\bar{\mu}_{1-2} = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} = \sqrt{\frac{0,02}{6} + \frac{0,21}{6}} = 0,196.$$

Обчислимо фактичне значення  $t$ -критерію Стьюдента:

$$t = \frac{|\tilde{x}_1 - \tilde{x}_2|}{\bar{\mu}_{1-2}} = \frac{|6,7 - 6,5|}{0,196} = 1,02.$$

Обчислимо число ступенів вільності з урахуванням істотності відмінностей вибірових дисперсій:

$$f = (n_1 + n_2 - 2) \left( 0,5 + \frac{S_1^2 S_2^2}{S_1^4 + S_2^4} \right) = (6 + 6 - 2) \left( 0,5 + \frac{0,02 \cdot 0,21}{0,02^2 + 0,21^2} \right) \approx 6.$$

Табличне значення  $t$ -критерію Стьюдента за рівня значущості  $\alpha = 0,05$  та числа ступенів вільності  $f = 6$ :  $t_m = 2,45$  (**Додаток Б**).

Порівняємо фактичне та табличне значення  $t$ -критерію Стьюдента:

$$t = 1,02 < t_m = 2,45.$$

Отже, нульова гіпотеза щодо рівності середніх у генеральних сукупностях підтверджується.

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.27.** Перевірити гіпотезу щодо рівності середніх двох незалежних вибірок (чисельність вибірок  $n_1 \neq n_2$ , дисперсії  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ). Для перевіряння маси батонів хліба, що виробляється на двох лініях одного підприємства, порівнювали батони, відібрані з кожної лінії (**таблиця 3.56**). Необхідно визначити, чи відрізняється істотно маса батонів хліба, що виробляється на різних лініях одного підприємства, тобто перевірити гіпотезу щодо істотності відмінностей між двома середніми в генеральних сукупностях.

Таблиця 3.56 – Маса батонів хліба, що виробляється на різних лініях

Лінія	Маса батонів хліба, г					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Лінія А	805	804	801	800	800	797
Лінія Б	800	801	804	804	803	–

**Завдання 3.28.** Перевірити статистичну гіпотезу щодо рівності середніх двох незалежних вибірок з нерівними дисперсіями ( $n_1 = n_2$ ;  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ). Під час дослідження порівнювали масову частку деформованих макаронних виробів від двох виробників. Для цього було відібрано по 7 зразків продукції від двох виробників. Результати визначення масової частки деформованих макаронних виробів в **таблиці 3.57**. Необхідно статистично оцінити істотність різниці середньої масової частки деформованих макаронних виробів від двох вибірок. Приймаємо, що вибірки отримані із нормально розподілених

генеральних сукупностей з нерівними дисперсіями  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ . Вибірки незалежні та мають однакову чисельність  $n_1 = n_2$ .

Таблиця 3.57 – Масова частка деформованих макаронних виробів

Виробники	Масова частка деформованих макаронних виробів, %						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Виробник А	0,6	1,0	0,9	1,8	1,7	2,0	1,9
Виробник Б	1,5	1,4	1,6	1,3	1,4	1,5	1,6

**Завдання 3.29.** Перевірити гіпотезу щодо рівності середніх двох незалежних вибірок (чисельність вибірок  $n_1 \neq n_2$ , дисперсії  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ). Для перевіряння масової частки кухонної солі в твердому сири, що виробляється на двох підприємствах, порівнювали зразки сиру з кожного підприємства (**таблиця 3.58**). Необхідно визначити, чи відрізняється істотно масова частка кухонної солі в сири з різних підприємств, тобто перевірити гіпотезу щодо істотності відмінностей між двома середніми в генеральних сукупностях.

Таблиця 3.58 – Масова частка кухонної солі в твердому сири

Підприємство-виробник	Масова частка кухонної солі в сири, %					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Підприємство А	2,1	2,5	2,0	2,3	2,4	2,4
Підприємство Б	1,9	2,3	2,0	2,2	-	-

## 3.8 ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ

**Дисперсійний аналіз** – це статистичний метод виявлення систематичних відмінностей між результатами вимірювань, які виконані за мінливих умов [93]. Цей метод полягає у статистичному вивченні вірогідності впливу одного або декількох факторів, а також їх взаємодії на результативну ознаку.

**Дисперсійний аналіз містить етапи:**

- визначення та розкладання варіації;
- визначення числа ступенів вільності варіації;
- обчислення дисперсій та їх співвідношень;
- аналізування дисперсій та їх співвідношень;
- оцінювання вірогідності різниці між середніми та формулювання висновків за результатами перевіряння нульової гіпотези.

Залежно від кількості факторів, що визначають варіацію ознаки-результату, дисперсійний аналіз поділяється на однофакторний та багатфакторний. Однофакторний дисперсійний аналіз передбачає порівняння дисперсії досліджуваної ознаки з дисперсією помилок виміру цієї ознаки. Якщо різниця між ними значима, то чинник істотно впливає на ознаку, що досліджується.

В основі дисперсійного аналізу є **закон розкладання** (додавання) **варіації**, відповідно до якого загальна варіація  $W_{заг.}$  результативної ознаки поділяється на дві: міжгрупову варіацію  $W_{м.гр.}$ , зумовлену дією досліджуваного фактора (факторів); внутрішньогрупову варіацію  $W_{в.гр.}$ , що зумовлена дією випадкових причин:

$$W_{заг.} = W_{м.гр.} + W_{в.гр.} \quad (3.61)$$

Отже, загальна дисперсія дорівнює сумі міжгрупової та внутрішньогрупової дисперсій:

$$\sigma_{заг.}^2 = \sigma_{м.гр.}^2 + \sigma_{в.гр.}^2 \quad (3.62)$$

Міжгрупову варіацію залежить переважно від дії фактора, що досліджується, а внутрішньогрупову – від дії випадкових факторів. Щоб оцінити вірогідність відмінностей між груповими середніми, необхідно визначити міжгрупову та внутрішньогрупову варіації.

#### Етапи однофакторного дисперсійного аналізу [93]:

- формулювання нульової  $H_0$  та альтернативної  $H_a$  гіпотез:

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \dots = \bar{x}_m, \quad H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2 \neq \dots \neq \bar{x}_m, \quad (3.63)$$

де  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$  – середня величина для групи спостережень;

- обчислення загальної середньої величини для сукупності:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_c} x_{ij}, \quad (3.64)$$

де  $x_{ij}$  –  $i$ -те спостереження в  $j$ -й групі;  $n$  – загальне число спостережень (одиниць сукупності);  $m$  – кількість груп спостережень;  $n_c$  – кількість спостережень (одиниць) в кожній групі.

- обчислення середньої величини для групи:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} x_{ij}; \quad (3.65)$$

- обчислення міжгрупової суми квадратів відхилень, що характеризує міжгрупову варіацію:

$$W_{м.гр.} = \sum_{j=1}^m n_c (\bar{x}_j - \bar{x})^2; \quad (3.66)$$

- обчислення внутрішньогрупової суми квадратів відхилень, що характеризує внутрішньогрупову варіацію:

$$W_{в.гр.} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_c} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2; \quad (3.67)$$

- обчислення загальної суми квадратів відхилень, що характеризує загальну варіацію:

$$W_{заг.} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_c} (x_{ij} - \bar{x})^2; \quad (3.68)$$

- обчислення числа ступенів вільності для міжгрупової суми квадратів відхилень:

$$f_1 = m - 1; \quad (3.69)$$

- обчислення числа ступенів вільності для внутрішньогрупової суми квадратів відхилень:

$$f_2 = n - m; \quad (3.70)$$

- обчислення числа ступенів вільності для загальної суми квадратів відхилень:

$$f_0 = n - 1 = f_1 + f_2; \quad (3.71)$$

- обчислення міжгрупової дисперсії:

$$S_1^2 = \frac{W_{м.гр.}}{f_1}; \quad (3.72)$$

- обчислення внутрішньогрупової дисперсії:

$$S_2^2 = \frac{W_{в.гр.}}{f_2}; \quad (3.73)$$

- обчислення фактичного значення  $F$ -критерію Фішера:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \text{ причому } S_1^2 > S_2^2; \quad (3.74)$$

- визначення за ступенями вільності  $f_1, f_2$  та прийнятим рівнем значущості  $\alpha$  табличного значення критерію Фішера  $F_m$  (**Додаток Г**);

- порівняння фактичного та табличного значень  $F$ -критерію Фішера: якщо  $F > F_m$ , то нульова гіпотеза відхиляється; якщо  $F < F_m$ , то нульова гіпотеза  $H_0$  приймається;

- $F$ -критерій Фішера дозволяє встановити наявність зв'язку між груповими середніми в цілому, але не показує між якими середніми різниця істотна, тому формується нульова гіпотеза щодо вірогідності відмінностей між парами середніх у генеральній сукупності:

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2, H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2, \quad (3.75)$$

$$H_0 : \bar{x}_2 = \bar{x}_3, H_a : \bar{x}_2 \neq \bar{x}_3,$$

.....;

$$H_0 : \bar{x}_{m-1} = \bar{x}_m, H_a : \bar{x}_{m-1} \neq \bar{x}_m,$$

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_3, H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_3,$$

.....;

- обчислення середньої помилки вибірок:

$$\bar{\mu} = \sqrt{\frac{S_{зал.}^2}{n_c}}, \quad (3.76)$$

де  $S_{зал.}^2$  – обчислена в дисперсійному аналізі залишкова дисперсія;

- обчислення фактичного значення  $Q$ -критерію Тьюкі:

$$Q = \frac{|\bar{x}_i - \bar{x}_j|}{\bar{\mu}}, \quad (3.77)$$

- визначення табличного значення критерію Тьюкі  $Q_m$  (див. **Додаток Д**), що залежить від рівня значущості  $\alpha$ , числа ступенів вільності  $f$  та порядку різниць  $z$  ( $z=2$  для сусідніх середніх,  $z=3$  для середніх, які розташовані одна від одної на дві позиції тощо);

- порівняння фактичного та табличного значень  $Q$ -критерію Тьюкі: якщо  $Q > Q_m$ , то нульова гіпотеза щодо рівності двох середніх відхиляється, а різниця між ними вірогідна; якщо  $Q < Q_m$ , то нульова гіпотеза  $H_0$  приймається, а різниця між ними неістотна;

- вірогідність різниці між парами середніх оцінюється також шляхом порівняння можливої граничної помилки (НСР)  $\epsilon_\alpha$  з фактичною різницею  $\epsilon$  між парами середніх (якщо різниця між двома середніми більша за абсолютною величиною ніж НСР, то різниця двох середніх істотна):

$$\epsilon_\alpha = Q_m \bar{\mu}, \quad (3.78)$$

де  $Q_m$  – табличне значення  $Q$ -критерію Тьюкі для рівня значущості  $\alpha$ , числа ступенів вільності  $f$  та порядку різниць  $z$ .

### Приклад 3.35

У лабораторії досліджували масову частку м'якоті в зразках соку яблучно-персикового з м'якоттю від трьох виробників. Досліджено було по 4 зразки соку кожного виробника. Результати дослідження зразків соку подані в **таблиці 3.59**. Очевидно, що між вибірковими середніми масової частки м'якоті у соках різних виробників, що обчислені за виразом (3.65), спостерігаються відмінності. Визначити, чи можна вважати ці відмінності статистично значущими.

**Таблиця 3.59** – Результати дослідження масової частки м'якоті в зразках соку яблучно-персикового з м'якоттю

Виробник соку яблучно-персикового з м'якоттю	Масова частка м'якоті в зразках соку, %				Середня масова частка м'якоті $\bar{x}_j$ , %
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
1	2	3	4	5	6
Виробник А	20,3	20,5	20,2	20,4	$\bar{x}_1 = 20,35$
Виробник Б	21,4	21,6	22,0	21,9	$\bar{x}_2 = 21,73$
Виробник В	23,7	23,9	24,0	23,5	$\bar{x}_3 = 23,78$
Загальна середня масова частка м'якоті $\bar{x}$ , %					$\bar{x} = 21,95$

Сформулюємо нульову  $H_0$  та альтернативну  $H_a$  гіпотези:

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \bar{x}_3 \text{ та } H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2 \neq \bar{x}_3 .$$

Обчислимо загальну середню масову частку м'якоті в соках усіх виробників за виразом (3.64):

$$\bar{x} = (20,3 + 20,5 + 20,2 + 20,4 + 21,4 + 21,6 + 22 + 21,9 + 23,7 + 23,9 + 24 + 23,5) / 12 = 21,95 \% .$$

Обчислимо середню масову частку м'якоті в соках кожного виробника за виразом (3.65):

$$\bar{x}_1 = (20,3 + 20,5 + 20,2 + 20,4) / 4 = 20,35 \%;$$

$$\bar{x}_2 = (21,4 + 21,6 + 22,0 + 21,9) / 4 = 21,73 \%;$$

$$\bar{x}_3 = (23,7 + 23,9 + 24,0 + 23,5) / 4 = 23,78 \%.$$

Обчислимо міжгрупову суму квадратів відхилень за виразом (3.66):

$$W_{м.гр.} = 4 \cdot (20,35 - 21,95)^2 + 4 \cdot (21,73 - 21,95)^2 + 4 \cdot (23,78 - 21,95)^2 = 23,8.$$

За виразом (3.67) обчислимо внутрішньогрупову (залишкову) суму квадратів відхилень:

$$W_{в.гр.} = (20,3 - 20,35)^2 + (20,5 - 20,35)^2 + (20,2 - 20,35)^2 + (20,4 - 20,35)^2 + (21,4 - 21,73)^2 + (21,6 - 21,73)^2 + (22,0 - 21,73)^2 + (21,9 - 21,73)^2 + (23,7 - 23,78)^2 + (23,9 - 23,78)^2 + (24,0 - 23,78)^2 + (23,5 - 23,78)^2 = 0,4.$$

За виразом (3.68) обчислимо загальну суму квадратів відхилень:

$$W_{заг.} = (20,3 - 21,95)^2 + (20,5 - 21,95)^2 + (20,2 - 21,95)^2 + (20,4 - 21,95)^2 + (21,4 - 21,95)^2 + (21,6 - 21,95)^2 + (22,0 - 21,95)^2 + (21,9 - 21,95)^2 + (23,7 - 21,95)^2 + (23,9 - 21,95)^2 + (24,0 - 21,95)^2 + (23,5 - 21,95)^2 = 24,2.$$

Можна записати:

$$W_{заг.} = W_{м.гр.} + W_{в.гр.},$$

$$24,2 = 23,8 + 0,4,$$

$$100 \% = 98,3 \% + 1,7 \%.$$

Отже, 98,3 % загального коливання масової частки м'якоті в зразках соку зумовлено таким фактором як виробник соку, а 1,7 % – неврахованими випадковими факторами.

За виразом (3.69) обчислимо число ступенів вільності для міжгрупової суми квадратів відхилень:

$$f_1 = 3 - 1 = 2.$$

За виразом (3.70) обчислимо число ступенів вільності для внутрішньогрупової суми квадратів відхилень:

$$f_2 = 12 - 3 = 9.$$

За виразом (3.71) обчислимо число ступенів вільності для загальної суми квадратів відхилень:

$$f_0 = 12 - 1 = 11.$$

За виразом (3.72) обчислимо міжгрупову дисперсію:

$$S_1^2 = \frac{23,8}{2} = 11,9.$$

За виразом (3.73) обчислимо внутрішньогрупову дисперсію:

$$S_2^2 = \frac{0,4}{9} = 0,04.$$

Обчислимо фактичне значення  $F$ -критерію Фішера за виразом (3.74):

$$F = \frac{11,9}{0,04} = 297,5.$$

Ураховуючи, що ступені вільності  $f_1 = 2$ ,  $f_2 = 9$  та прийнявши рівень значущості  $\alpha = 0,05$ , табличне значення критерію Фішера становить  $F_m = 4,26$  (**Додаток Г**). Порівняємо фактичне і табличне значення  $F$ -критерію Фішера:

$$F = 297,5 > F_m = 4,26.$$

Отже, нульова гіпотеза відхиляється та приймається альтернативна гіпотеза – значення генеральних середніх істотно відрізняються. Тобто вплив такого фактора як виробник на масову частку м'якоті в соку вірогідний та істотний. Результати проведеного однофакторного дисперсійного аналізу подані в **таблиці 3.60**.

Таблиця 3.60 – Результати однофакторного дисперсійного аналізу

Джерело варіації	Обсяг варіації	Ступінь вільності варіації	Дисперсія	Значення $F$ -критерію Фішера	
	$W_i$	$f_i^2$	$S_i^2$	$F$	$F_m$
Міжгрупова	23,8	2	11,9	297,5	4,26
Внутрішньогрупова (залишкова)	0,4	9	0,04	–	–
Загальна	24,2	11	–	–	–

Перевіримо статистичні гіпотези щодо вірогідності відмінностей між парами середніх у генеральних сукупностях. Сформулюємо  $H_0$  та альтернативну  $H_a$  гіпотези:

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2; H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2;$$

$$H_0 : \bar{x}_2 = \bar{x}_3; H_a : \bar{x}_2 \neq \bar{x}_3;$$

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_3; H_a : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_3.$$

За виразом (3.76) обчислимо середню помилку вибірок:

$$\bar{\mu} = \sqrt{\frac{0,04}{4}} = 0,1\%.$$

Для кожної пари середніх обчислимо фактичне значення  $Q$ -критерію Тьюкі за виразом (3.77):

$$Q_1 = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\bar{\mu}} = \frac{|20,35 - 21,73|}{0,1} = 13,8;$$

$$Q_2 = \frac{|\bar{x}_3 - \bar{x}_2|}{\bar{\mu}} = \frac{|23,78 - 21,73|}{0,1} = 20,5;$$

$$Q_3 = \frac{|\bar{x}_3 - \bar{x}_1|}{\bar{\mu}} = \frac{|23,78 - 20,35|}{0,1} = 34,3.$$

Визначимо табличне значення критерію Тьюкі  $Q_m$  (Додаток Д) за рівня значущості  $\alpha=0,05$ , числа ступенів вільності  $f=f_2=9$ :

- для різниць першого ( $z=2$ ) порядку  $Q_m=3,199$ ;
- для різниць другого ( $z=3$ ) порядку  $Q_m=3,949$ .

Порівняємо фактичне та табличне значення  $Q$ -критерію (таблиця 3.61):

$$Q_1 = 13,8 > Q_m = 3,199;$$

$$Q_2 = 20,5 > Q_m = 3,199;$$

$$Q_3 = 34,3 > Q_m = 3,949.$$

Для усіх пар середніх  $Q > Q_m$ , тому нульові гіпотези відхиляються.

Аналогічні висновки отримаємо, порівнюючи НСР  $\epsilon_\alpha$  з фактичною різницею  $\epsilon$  між парами середніх (таблиця 3.61). Фактична різниця:

$$\epsilon = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| = |20,35 - 21,73| = 1,38;$$

$$\epsilon = |\bar{x}_3 - \bar{x}_2| = |23,78 - 21,73| = 2,05;$$

$$\epsilon = |\bar{x}_3 - \bar{x}_1| = |23,78 - 20,35| = 3,43.$$

Можлива гранична помилка (НСР):

- для різниць першого порядку:

$$\epsilon_\alpha = Q_m \bar{\mu} = 3,199 \cdot 0,1 = 0,32\%;$$

- для різниць другого порядку:

$$\epsilon_\alpha = Q_m \bar{\mu} = 3,949 \cdot 0,1 = 0,39\%.$$

Таблиця 3.61 – Аналіз статистичної оцінки різниці між парами середніх

Порядок різниці	Значення критерію Тьюкі		Можлива гранична помилка	
	$Q$	$Q_m$	$\epsilon$	$\epsilon_\alpha$
Перший порядок	13,8	3,199	1,38	0,32
Перший порядок	20,5	3,199	2,05	0,32
Другий порядок	34,3	3,949	3,43	0,39

НСР показує, що в результаті випадкового варіювання різниця між парами середніх першого порядку може сягати 0,32%, другого – 0,39%. Порівняння фактичних і гранично можливих значень різниць між парами середніх показує, що фактичні різниці значно перевищують межі можливих випадкових коливань. Отже, вплив такого фактора як виробник на масову частку м'якоті в соку яблучно-персиковому є суттєвим.

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.30.** На підприємстві встановлено три зерноочисних лінії, на які подається зерно пшениці з однаковими показниками якості. Проведене дослідження з визначення вмісту сміттєвої домішки в зерні пшениці після очищення на цих лініях. Досліджено було по 5 зразків зерна з кожної лінії. Результати дослідження зразків зерна подані в таблиці 3.62. Провести оцінювання істотності відмінностей між груповими середніми та між парами середніх.

Таблиця 3.62 – Результати дослідження вмісту сміттєвої домішки в зерні пшениці після очищення

Зерноочисна лінія	Вміст сміттєвої домішки в зерні пшениці, %				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Лінія № 1	0,1	0,4	0,2	0,5	0,2
Лінія № 2	1,0	0,8	1,3	1,5	1,4
Лінія № 3	1,2	0,9	1,4	1,1	1,0

**Завдання 3.31.** Результати дослідження вмісту вітаміну С у 7 сортах яблук подані в *таблиці 3.63*. Досліджено було по 5 зразків яблук кожного сорту. Провести оцінювання істотності відмінностей між груповими середніми.

Таблиця 3.63 – Результати дослідження вмісту вітаміну С в яблуках

Сорт яблук	Вміст вітаміну С в яблуках, мг/100 г				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Сорт № 1	10,5	10,3	9,6	9,8	10,1
Сорт № 2	8,4	8,9	8,7	8,5	8,5
Сорт № 3	9,2	9,4	9,1	9,7	9,6
Сорт № 4	12,4	12,8	11,7	12,9	13,0
Сорт № 5	15,7	14,9	15,3	15,3	15,5
Сорт № 6	16,5	17,3	16,4	16,2	16,5
Сорт № 7	10,3	10,8	10,9	10,4	10,5

### 3.9 Кореляційний аналіз

**Кореляційний аналіз** – це статистичне дослідження стохастичної залежності між випадковими величинами. Стохастична (кореляційна) залежність між змінними величинами – це залежність, за якої кожному фіксованому значенню однієї змінної (аргументу) відповідає декілька значень іншої змінної (функції). Кореляційний зв'язок між змінними проявляється за великої кількості спостережень. Кореляційний зв'язок буває прямолінійним і криволінійним, прямим та зворотним, простим (між двома ознаками) та множинним (між трьома і більшою кількістю ознак) (*рис. 3.9*) [93].

#### Етапи кореляційного аналізу [93]:

- встановлення наявності зв'язку між ознаками;
- відбір найбільш суттєвих факторів для аналізу;
- визначення характеру зв'язку, його напрямку та форми, вибір математичного рівняння для вираження зв'язку;
- обчислення числових характеристик кореляційного зв'язку (визначення параметрів рівняння та показників щільності зв'язку);
- статистичне оцінювання вибірових показників зв'язку.

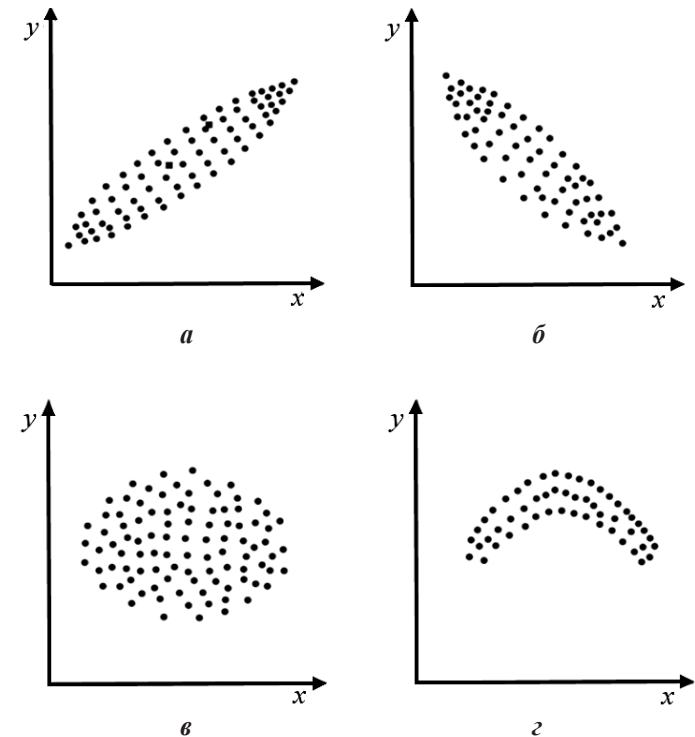


Рисунок 3.9 – Види кореляційного зв'язку: а – прямий прямолінійний; б – зворотний прямолінійний; в – відсутній кореляційний зв'язок; г – криволінійний

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

$$\tilde{y}_x = a + bx, \quad (3.79)$$

де  $\tilde{y}_x$  – вирівняні значення результативної ознаки;  $x$  – значення факторної ознаки;  $a, b$  – параметри рівняння регресії.

Параметри  $a$  та  $b$  рівняння (3.79) визначають із системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i &= an + b \sum_{i=1}^n x_i; \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i &= a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2, \end{aligned} \right\} \quad (3.80)$$

де  $n$  – кількість дослідних результатів (точок).

У випадку криволінійного кореляційного зв'язку використовують, наприклад, рівняння параболи другого порядку:

$$\tilde{y}_x = a + bx + cx^2, \quad (3.81)$$

де  $a, b, c$  – параметри рівняння параболи.

Параметри рівняння параболи визначають із системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i &= an + b \sum_{i=1}^n x_i + c \sum_{i=1}^n x_i^2; \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i &= a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i^3; \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 &= a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^4. \end{aligned} \right\} \quad (3.82)$$

Щільність зв'язку в кореляційному аналізі характеризують за допомогою **коефіцієнта кореляції**. За парної лінійної залежності щільність зв'язку визначають за допомогою лінійного коефіцієнта кореляції [94]:

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \times \bar{y}}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (3.83)$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]}}, \quad (3.84)$$

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

Коефіцієнт кореляції може перебувати в межах від 0 до  $\pm 1$ . Якщо коефіцієнт кореляції дорівнює нулю, то зв'язок відсутній. Якщо коефіцієнт кореляції рівний одиниці (за модулем), то зв'язок функціональний, тобто коли кожному значенню однієї змінної (аргументу) відповідає однозначно визначене значення іншої змінної (функції). Знак при коефіцієнті кореляції вказує на напрямок зв'язку: «+» – прямий; «-» – обернений. Що ближче значення коефіцієнта кореляції до одиниці (за модулем), то зв'язок між ознаками, які досліджуються, щільніший. У випадку  $|r| \geq 0,7$  вважають, що кореляційний зв'язок міцний, у випадку  $0,3 \leq |r| < 0,7$  – зв'язок є середнім, у випадку  $|r| < 0,3$  – зв'язок вважають слабким.

У випадку нелінійного зв'язку між змінними величинами, коефіцієнт кореляції розраховують за виразом [93]:

$$r = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{факт.}}^2}{\sigma_{\text{заг.}}^2}} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{\text{зал.}}^2}{\sigma_{\text{заг.}}^2}}, \quad (3.85)$$

де  $\sigma_{\text{факт.}}^2$ ,  $\sigma_{\text{заг.}}^2$ ,  $\sigma_{\text{зал.}}^2$  – факторна, загальна та залишкова дисперсії.

У випадку параболическої залежності вираз (3.85) матиме вигляд:

$$r = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{факт.}}^2}{\sigma_{\text{заг.}}^2}} = \sqrt{\frac{a \sum_{i=1}^n y_i + b \sum_{i=1}^n y_i x_i + c \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 - n \bar{y}^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2}}. \quad (3.86)$$

**Коефіцієнт детермінації** ( $r^2$ ) – це квадрат коефіцієнта кореляції. Цей коефіцієнт показує, яка частка загальної варіації ознаки визначається фактором, що досліджується.

### Приклад 3.36

Проведене дослідження впливу тривалості лушення ячменю на індекс лушення, результати дослідження представлені в **таблиці 3.64**. Проведемо кореляційно-регресійний аналіз зв'язку між тривалістю

лушення та індексом лушення. Для характеристики цього зв'язку визначимо: форму зв'язку та рівняння зв'язку (для цього побудуємо кореляційне поле, де  $x$  – незалежна змінна (тривалість лушення),  $y$  – залежна змінна (індекс лушення)); параметри рівняння регресії; щільність зв'язку (коefficientи кореляції та детермінації).

Таблиця 3.64 – Результати дослідження впливу тривалості лушення ячменю  $x$  [с] на індекс лушення  $y$  [%]

$x, c$	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

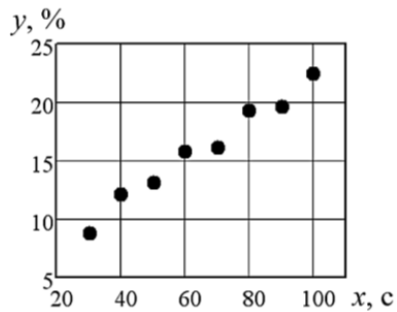


Рисунок 3.10 – Кореляційне поле

Параметри рівняння прямої лінії  $a$  та  $b$  визначимо із рівнянь (3.80). Усі необхідні дані для рівнянь (3.80) обчислимо за експериментальними даними з **таблиці 3.64**. Сформуємо з обчислених даних **таблицю 3.65**.

Таблиця 3.65 – Обчислення даних для визначення показників кореляційного зв'язку

№ з/п	Індекс лушення $y, \%$	Тривалість лушення $x, c$	Обчислені параметри			
			$yx$	$y^2$	$x^2$	$\tilde{y}, \%$
1	2	3	4	5	6	7
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

Закінчення таблиці 3.65

1	2	3	4	5	6	7
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	10 000	22,2
Разом	142,6	550	9302	2295,82	38 500	142,6
В середньому	14,26	55,0	930,2	229,58	3850,0	14,26

Дані з **таблиці 3.65** підставимо в систему рівнянь (3.80):

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

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'язання рівнянь дозволило отримати значення  $b=0,177$  та  $a=4,533$ . Отже, рівняння регресії (кореляційне рівняння), яке описує зв'язок між тривалістю лушення та індексом лушення ячменю, матиме вигляд:

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

За рівнянням регресії обчислимо очікувані значення індексу лушення за різних значень тривалості лушення. Для цього замість  $x$  в отримане рівняння регресії підставимо експериментальні значення  $x$  з **таблиці 3.64**:

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

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

.....

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

Обчислені значення  $\tilde{y}_x$  занесемо в графу 7 **таблиці 3.65**. За отриманим рівнянням регресії побудуємо теоретичну лінію регресії на кореляційному полі (**рис. 3.11**).

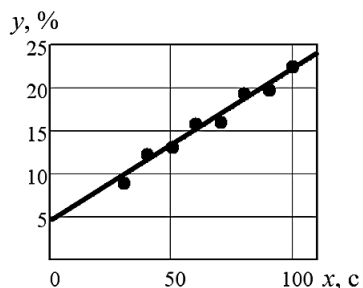


Рисунок 3.11 – Залежність індексу лушення  $y$  від тривалості лушення ячменю  $x$

обчислимо лінійний коефіцієнт регресії за виразом (3.84), використавши дані **таблиці 3.65**:

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

Значення коефіцієнта кореляції показує, що між тривалістю лушення та індексом лушення ячменю існує міцний зв'язок.

Обчислимо значення коефіцієнта детермінації:

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

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

### Приклад 3.37

Проведене дослідження впливу тривалості періоду після випікання тонких галет на вологість виробів, результати дослідження представлені в **таблиці 3.66**. Необхідно провести кореляційно-регресійний аналіз зв'язку між тривалістю періоду після випікання тонких галет та їх вологістю. 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 періоду після випікання),  $y$  – залежна змінна (вологість тонких

Перевіримо правильність проведених обчислень шляхом порівняння суми фактичних значень індексу лушення з сумою обчислених його значень:

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

$$142,6 = 142,6.$$

Отже, обчислення проведені правильно.

Визначимо щільність зв'язку між тривалістю лушення ячменю та індексом лушення. Для цього

галет)); параметри рівняння регресії; щільність зв'язку (коефіцієнти кореляції та детермінації).

Таблиця 3.66 – Результати дослідження впливу тривалості  $x$  [год] періоду після випікання тонких галет на вологість виробів  $y$  [%]

$x$ , год	1,0	1,5	2,0	2,0	3,0	3,5	4,0	4,0	5,0	5,5
$y$ , %	13,8	14,0	15,3	15,6	15,8	16,0	14,7	15,2	13,2	13,6

Для визначення форми зв'язку між вологістю галет  $y$  та тривалістю  $x$  періоду після випікання галет побудуємо кореляційне поле (**рис. 3.12, а**). На осі абсцис відкладемо значення тривалості періоду після випікання галет, а на осі ординат – відкладемо вологість галет. Аналіз кореляційного поля показує, що зв'язок є нелінійним, оскільки вологість виробів спочатку зростає, а потім зменшується. Цей зв'язок можна виразити рівнянням параболи другого порядку (3.81).

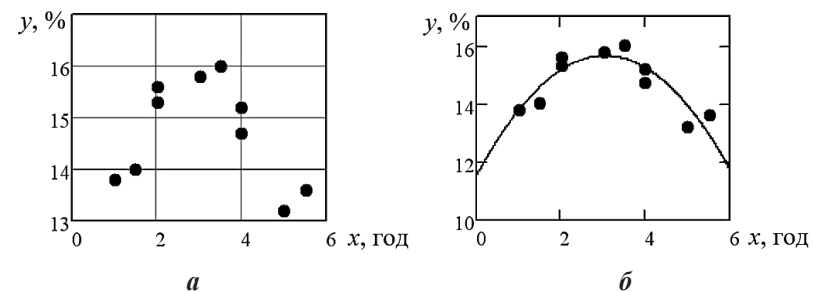


Рисунок 3.12 – Кореляційне поле (**а**) та залежності вологості  $y$  галет від тривалості  $x$  періоду після їх випікання (**б**)

Параметри рівняння параболи  $a$ ,  $b$  та  $c$  визначимо із рівнянь (3.82). Усі необхідні дані для рівнянь (3.82) обчислимо за експериментальними даними з **таблиці 3.66**. Сформуємо з обчислених даних **таблицю 3.67**.

Обчислені дані (**таблиця 3.67**) підставимо у систему рівнянь (3.82):

$$\left. \begin{aligned} 147,2 &= a \cdot 10 + b \cdot 31,5 + c \cdot 119,75; \\ 460,4 &= a \cdot 31,5 + b \cdot 119,75 + c \cdot 509,625; \\ 1726,9 &= a \cdot 119,75 + b \cdot 509,625 + c \cdot 2321,18. \end{aligned} \right\}$$

За результатами розв'язання системи лінійних рівнянь отримали значення параметрів рівняння регресії:  $a=11,509$ ;  $b=2,711$ ;  $c=-0,445$ .

Таблиця 3.67 – Обчислення даних для визначення показників кореляційного зв'язку

№ з/п	у, %	х, год	Обчислені параметри						$\tilde{y}_x, \%$
			$x^2$	$x^3$	$x^4$	$yx$	$yx^2$	$y^2$	
1	13,8	1,0	1,0	1,0	1,0	13,8	13,8	190,44	13,8
2	14,0	1,5	2,25	3,375	5,06	21,0	31,5	196,0	14,6
3	15,3	2,0	4,0	8,0	16,0	30,6	61,2	234,09	15,2
4	15,6	2,0	4,0	8,0	16,0	31,2	62,4	243,36	15,2
5	15,8	3,0	9,0	27,0	81,0	47,4	142,2	249,64	15,6
6	16,0	3,5	12,25	42,875	150,06	56,0	196,0	256,0	15,5
7	14,7	4,0	16,0	64,0	256,0	58,8	235,2	216,09	15,2
8	15,2	4,0	16,0	64,0	256,0	60,8	243,2	231,04	15,2
9	13,2	5,0	25,0	125,0	625,0	66,0	330,0	174,24	13,9
10	13,6	5,5	30,25	166,375	915,06	74,8	411,4	184,96	13,0
Разом	147,2	31,5	119,75	509,625	2321,18	460,4	1726,9	2175,86	147,2

Рівняння регресії (кореляційне рівняння), яке описує зв'язок між періодом після випікання та вологістю галет, матиме вигляд:

$$\tilde{y}_x = 11,509 + 2,711 \cdot x - 0,445 \cdot x^2.$$

За рівнянням регресії обчислимо очікувані значення вологості галет за різної тривалості періоду після їх випікання. Для цього замість  $x$  в отримане рівняння регресії підставимо експериментальні значення  $x$  з **таблиці 3.66**:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_{x=1} &= 11,509 + 2,711 \cdot 1 - 0,445 \cdot 1^2 = \\ &= 11,509 + 2,711 \cdot 1 - 0,445 \cdot 1^2 = 13,8; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{y}_{x=1,5} &= 11,509 + 2,711 \cdot 1,5 - 0,445 \cdot 1,5^2 = \\ &= 11,509 + 2,711 \cdot 1,5 - 0,445 \cdot 1,5^2 = 14,6; \end{aligned}$$

.....

$$\begin{aligned} \tilde{y}_{x=5,5} &= 11,509 + 2,711 \cdot 5,5 - 0,445 \cdot 5,5^2 = \\ &= 11,509 + 2,711 \cdot 5,5 - 0,445 \cdot 5,5^2 = 13,0. \end{aligned}$$

Обчислені значення заносяться в графу 10 **таблиці 3.67**. За отриманим рівнянням регресії побудуємо теоретичну криву регресії на кореляційному полі (**рис. 3.12, б**).

Перевіримо правильність проведених обчислень шляхом порівняння суми фактичних значень вологості галет з сумою обчислених її значень:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i &= \sum_{i=1}^n \tilde{y}_x; \\ 147,2 &= 147,2. \end{aligned}$$

Отже, обчислення проведені правильно.

Визначимо щільність зв'язку між тривалістю періоду після випікання галет та їх вологістю. Для цього обчислимо коефіцієнт регресії за виразом (3.86), використавши дані **таблиці 3.67**:

$$r = \sqrt{\frac{11,509 \cdot 147,2 + 2,711 \cdot 460,4 - 0,445 \cdot 1726,9 - 10 \cdot \left(\frac{147,2}{10}\right)^2}{2175,86 - 10 \cdot \left(\frac{147,2}{10}\right)^2}} = 0,88.$$

Значення коефіцієнта кореляції показує, що між тривалістю періоду після випікання галет та їх вологістю існує міцний зв'язок.

Обчислимо значення коефіцієнта детермінації:

$$r^2 = 0,88^2 = 0,77.$$

Коефіцієнт детермінації показує, що 77% загальної варіації вологості галет зумовлено тривалістю періоду після випікання, а 23% – іншими факторами, які не були враховані під час дослідження.

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 3.32.** 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 3.68**). Також побудувати кореляційне поле та графік отриманої залежності  $y=f(x)$ .

Таблиця 3.68 – 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

**Завдання 3.33.** Провести кореляційно-регресійний аналіз зв'язку між тривалістю  $x$  [год] процесу самозігрівання зерна та зміною температури  $y$  [°C] зернової маси за даними, які отримані в результаті експериментальних досліджень (*таблиця 3.69*). Також побудувати кореляційне поле та графік отриманої залежності  $y=f(x)$ .

*Таблиця 3.69* – Результати дослідження впливу тривалості  $x$  [год] процесу самозігрівання зерна на зміну температури  $y$  [°C] зернової маси

$x$ , год	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
$y$ , °C	47,2	57,2	59,3	61,4	63,2	68,1	68,8	69,3	69,1	69,0
$x$ , год	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0
$y$ , °C	68,9	68,9	68,0	68,7	65,2	64,7	60,0	54,3	50,0	46,7

## РОЗДІЛ 4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ



### 4.1 МАТЕМАТИЧНИЙ МЕТОД ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

**Математична модель** – це математичний вираз чи їх сукупність, що за допомогою чисел, літер і математичних знаків описують об'єкт, який досліджується, та його взаємодію з навколишнім середовищем. **Математичне моделювання** – це метод, що передбачає дослідження процесів чи явищ із використанням їх математичних моделей.

Математичний метод планування експерименту використовують для вивчення і математичного опису процесів та явищ шляхом побудови математичних моделей (рівнянь регресії), які пов'язують чинники (**фактори**), що впливають на об'єкт експериментального дослідження, з результатом експерименту (**відгуком**).

**Етапи планування та проведення експерименту** [98]:

- збирання та аналіз апріорної інформації щодо об'єкта дослідження;
- вибір факторів та відгуку (шуканого показника);
- вибір матеріалів, приладів та лабораторного обладнання для проведення експерименту;
- кодування факторів;
- складання плану-матриці експерименту;
- рандомізація дослідів;
- реалізація плану експерименту;
- оброблення результатів експерименту;
- аналіз результатів експерименту;
- формулювання висновків і рекомендацій.

Об'єкт дослідження можна зобразити у вигляді «чорної скриньки» (*рис. 4.1*). На нього діють вхідні чинники (фактори)  $x_1, x_2, \dots, x_n$  та збурювальні чинники  $w_1, w_2, \dots, w_z$ , які мають випадковий характер та не підлягають контролю. На виході «чорної скриньки» є реакція об'єкта на дію факторів (відгук)  $y_1, y_2, \dots, y_k$ , що функціонально залежить від вхідних факторів. Отже, мета проведення

експерименту – це встановлення функціональної залежності (**функції відгуку**), яка описує поведінку об'єкта:

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (4.1)$$

Функція відгуку (рівняння регресії) (4.1) подається як поліном, що, наприклад, для двофакторного експерименту має вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2, \quad (4.2)$$

де  $y$  – відгук;  $x_1, x_2$  – кодовані значення факторів;  $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$  – коефіцієнти рівняння регресії.

Аналогічно складається рівняння регресії для експериментів із більшою кількістю факторів.

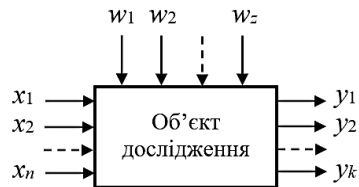


Рисунок 4.1 – Зображення об'єкта дослідження у вигляді «чорної скриньки»

Для експерименту важливе значення має правильний вибір факторів, оскільки ступінь їх впливу на об'єкт неоднаковий. Лише кілька факторів істотно впливають на вихідну величину (відгук). Для оцінювання значущості факторів використовують експертні методи або проводять попередні пошукові дослідження. Якщо значущий фактор не враховується, то похибка результатів експерименту різко зростає.

Важливим також є вибір інтервалу варіювання факторів. Він не може бути меншим за похибку, з якою фіксується рівень факторів, та не може бути настільки великим, щоб верхній чи нижній рівні опинилися поза областю визначення. Для зручності оброблення результатів дослідів проводять перетворення натуральних значень факторів у кодовані (рис. 4.2):

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X_i}, \quad (4.3)$$

де  $x_i, X_i$  – кодоване та натуральне значення  $i$ -го фактору;  $X_{0i}$  – натуральне значення фактору на нульовому рівні;  $\Delta X_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го фактору.

Після кодування факторів складають план-матрицю проведення експерименту. План-матриця для двофакторного експерименту подана в **таблиці 4.1**. Цей експеримент передбачає проведення чотирьох дослідів ( $n=2^2=4$ ).

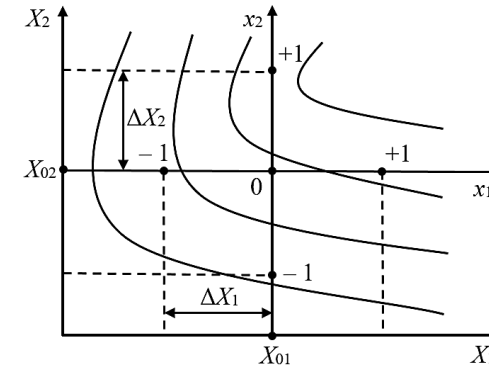


Рисунок 4.2 – Графік до пояснення перетворення натуральних значень факторів у кодовані

Таблиця 4.1 – План-матриця експерименту

Номер дослідів $u$	Значення кодованих факторів		Відгуки		
	$x_1$	$x_2$	$y_{u1}$	$y_{u2}$	$y_{u3}$
1	-1	-1	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$
2	+1	-1	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$
3	-1	+1	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$
4	+1	+1	$y_{41}$	$y_{42}$	$y_{43}$

**Етапи оброблення результатів експерименту [99]:**

- обчислення середнього значення результатів паралельних дослідів (відгуку):

$$\bar{y}_u = \frac{1}{m_0} \sum_{l=1}^{m_0} y_{ul}, \quad (4.4)$$

де  $m_0$  – повторюваність дослідів;  $u$  – номер дослідів;  $y_{ul}$  – відгук у повторюваності  $l$  дослідів  $u$ ;

- обчислення дисперсії серії паралельних дослідів:

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{l=1}^{m_0} (y_{ul} - \bar{y}_u)^2; \quad (4.5)$$

- обчислення критерію Кохрена  $G$ :

$$G = \frac{S_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2}, \quad (4.6)$$

де  $S_{u\max}^2$  – найбільша із дисперсій  $S_u^2$ ;  $n$  – кількість дослідів;

- перевіряння умови відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена  $G$ :

$$G \leq G_m, \quad (4.7)$$

де  $G_m$  – табличне значення критерію Кохрена (*Додаток Е*), що залежить від рівня значущості  $\alpha = 0,05$ , кількості дослідів  $n$  та числа ступенів вільності  $f_u = m_0 - 1$ ;

- обчислення коефіцієнтів рівняння регресії:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{y}_u, \quad (4.8)$$

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u, \quad (4.9)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u, \quad (4.10)$$

де  $x_{iu}$  – значення  $i$ -го кодованого фактору в  $u$ -му досліді;  $x_{ju}$  – значення  $j$ -го кодованого фактору в  $u$ -му досліді;

- обчислення дисперсії відтворюваності:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2; \quad (4.11)$$

- оцінювання значущості коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Стюдента (коефіцієнт вважається значущим, якщо умова виконується):

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t_m \sqrt{\frac{S_y^2}{n}}, \quad (4.12)$$

де  $b_a$  – коефіцієнти  $b_0, b_i, b_{ij}$ ;  $\Delta b_a$  – довірча границя;  $t_m$  – критерій Стюдента за рівня значущості  $\alpha = 0,05$  та числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності  $f = n(m_0 - 1)$  (*Додаток Б*);

- складання рівняння регресії (неповне квадратне рівняння):

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2; \quad (4.13)$$

- обчислення дисперсії адекватності:

$$S_{ad.}^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{u=1}^n (y_u - \bar{y}_u)^2, \quad (4.14)$$

де  $k$  – кількість значущих коефіцієнтів рівняння регресії;  $y_u$  – відгук, що обчислений за рівнянням регресії (4.13) для  $u$ -го досліді;

- перевіряння адекватності рівняння регресії (4.13) за критерієм Фішера  $F$  (рівняння регресії адекватне, якщо виконується умова):

$$F = \frac{S_{ad.}^2}{S_y^2} < F_m, \quad (4.15)$$

де  $F_m$  – значення критерію Фішера за рівня значущості  $\alpha = 0,05$ , числа ступенів вільності дисперсії адекватності  $f_1 = n - k$  та числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності  $f_2 = n(m_0 - 1)$ , яке визначається згідно з *Додатком Г*;

- проведення переходу від рівняння регресії з кодованими факторами до рівняння регресія з натуральними значеннями факторів за виразом (4.3);
- побудова поверхні відгуку за рівнянням регресії.

#### Приклад 4.1

Із використанням математичного методу планування двофакторного експерименту досліджено вплив на в'язкість соусу (відстань протікання продукту в консистометрі Боствіка) у [см] двох факторів: вмісту «вівсяного молока»  $X_1$  у соусі та тривалості збивання рецептурних інгредієнтів  $X_2$ . Результати кодування двох факторів подані в *таблиці 4.2*. План-матриця експерименту та результати його реалізації подані в *таблиці 4.3*.

Таблиця 4.2 – Результати кодування факторів

Позначення факторів та розмірність		Інтервал варіювання факторів $\Delta X_i$	Рівні варіювання факторів					
натуральне	кодоване		натуральні			кодовані		
			$X_{\min}$	$X_{0i}$	$X_{\max}$	$X_{\min}$	$X_{0i}$	$X_{\max}$
$X_1, \%$	$x_1$	5	12	17	22	-1	0	+1
$X_2, \text{с}$	$x_2$	60	60	120	180	-1	0	+1

Проведемо оброблення результатів експерименту. За виразом (4.4) обчислимо середнє значення результатів паралельних дослідів:

$$\begin{aligned}\bar{y}_1 &= \frac{5,5+6+5,7}{3} = 5,73 \text{ см;} \\ \bar{y}_2 &= \frac{10,3+9,7+9,9}{3} = 9,97 \text{ см;} \\ \bar{y}_3 &= \frac{5,1+4,7+5,1}{3} = 4,97 \text{ см;} \\ \bar{y}_4 &= \frac{8,7+8,5+8,8}{3} = 8,67 \text{ см.}\end{aligned}$$

Таблиця 4.3 – План-матриця експерименту

Номер дослідів $u$	Значення кодованих факторів		Відгуки, см		
	$x_1$	$x_2$	$y_{u1}$	$y_{u2}$	$y_{u3}$
1	-1	-1	5,5	6,0	5,7
2	+1	-1	10,3	9,7	9,9
3	-1	+1	5,1	4,7	5,1
4	+1	+1	8,7	8,5	8,8

Обчислимо дисперсії серії паралельних дослідів за виразом (4.5):

$$\begin{aligned}S_1^2 &= \frac{(5,5-5,73)^2 + (6-5,73)^2 + (5,7-5,73)^2}{3-1} = 0,06; \\ S_2^2 &= \frac{(10,3-9,97)^2 + (9,7-9,97)^2 + (9,9-9,97)^2}{3-1} = 0,09; \\ S_3^2 &= \frac{(5,1-4,97)^2 + (4,7-4,97)^2 + (5,1-4,97)^2}{3-1} = 0,05; \\ S_4^2 &= \frac{(8,7-8,67)^2 + (8,5-8,67)^2 + (8,8-8,67)^2}{3-1} = 0,02.\end{aligned}$$

За виразом (4.6) обчислимо значення критерію Кохрена, враховуючи, що максимальна дисперсія в серії паралельних дослідів  $S_{2\max}^2 = 0,09$ :

$$G = \frac{0,09}{0,06+0,09+0,05+0,02} = 0,409.$$

За рівня значущості  $\alpha=0,05$ , кількості дослідів  $n=4$  та числа ступенів вільності  $f_u=3-1=2$ , значення критерію Кохрена становить  $G_m=0,768$  (Додаток Е). Перевіримо умову (4.7) відтворюваності дослідів:

$$G=0,409 < G_m=0,768.$$

Оскільки умова (4.7) виконується, то дослідів відтворювані.

За виразами (4.8)–(4.10) обчислимо коефіцієнти рівняння регресії:

$$\begin{aligned}b_0 &= \frac{5,73+9,97+4,97+8,67}{4} = 7,34; \\ b_1 &= \frac{-1 \cdot 5,73 + 1 \cdot 9,97 - 1 \cdot 4,97 + 1 \cdot 8,67}{4} = 1,99; \\ b_2 &= \frac{-1 \cdot 5,73 - 1 \cdot 9,97 + 1 \cdot 4,97 + 1 \cdot 8,67}{4} = -0,52; \\ b_{12} &= \frac{(-1) \cdot (-1) \cdot 5,73 + 1 \cdot (-1) \cdot 9,97 + (-1) \cdot 1 \cdot 4,97 + 1 \cdot 1 \cdot 8,67}{4} = -0,14.\end{aligned}$$

Обчислимо дисперсії відтворюваності за виразом (4.11):

$$S_y^2 = \frac{0,06+0,09+0,05+0,02}{4} = 0,06.$$

Значення критерію Стьюдента становить  $t_m=2,31$  (Додаток Б) за рівня значущості  $\alpha=0,05$  та числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності  $f=4 \cdot (3-1)=8$ . Обчислимо довірчу границю за виразом (4.12):

$$\Delta b_a = 2,31 \cdot \sqrt{\frac{0,06}{4}} = 0,28.$$

Порівняємо значення коефіцієнтів рівняння регресії з довірчою границею:

$$|b_0 = 7,34| > \Delta b_a = 0,28;$$

$$|b_1 = 1,99| > \Delta b_a = 0,28;$$

$$|b_2 = -0,52| > \Delta b_a = 0,28;$$

$$|b_{12} = -0,14| < \Delta b_a = 0,28.$$

Отже, коефіцієнти  $b_0=7,34$ ,  $b_1=1,99$  та  $b_2=-0,52$  є значущими, а коефіцієнт  $b_{12}=-0,14$  є незначущим, тобто його не використовуємо в рівнянні регресії. Складемо рівняння регресії:

$$y = 7,34 + 1,99x_1 - 0,52x_2.$$

Обчислимо відгук за складеним рівнянням регресії для кожного досліджу:

$$y_1 = 7,34 + 1,99 \cdot (-1) - 0,52 \cdot (-1) = 5,87 \text{ см};$$

$$y_2 = 7,34 + 1,99 \cdot (+1) - 0,52 \cdot (-1) = 9,85 \text{ см};$$

$$y_3 = 7,34 + 1,99 \cdot (-1) - 0,52 \cdot (+1) = 4,83 \text{ см};$$

$$y_4 = 7,34 + 1,99 \cdot (+1) - 0,52 \cdot (+1) = 8,81 \text{ см}.$$

Обчислимо дисперсію адекватності за виразом (4.14):

$$S_{ad}^2 = \frac{(5,87 - 5,73)^2 + (9,85 - 9,97)^2 + (4,83 - 4,97)^2 + (8,81 - 8,67)^2}{4 - 3} = 0,07.$$

За виразом (4.15) обчислимо критерій Фішера  $F$ :

$$F = \frac{0,07}{0,06} = 1,17.$$

Значення критерію Фішера за рівня значущості  $\alpha=0,05$ , числа ступенів вільності дисперсії адекватності  $f_1=4-3=1$  та числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності  $f_2=4 \cdot (3-1)=8$  становить  $F_m=5,32$  (Додаток Г).

Оскільки  $F=1,17 < F_m=5,32$ , то рівняння регресії є адекватним.

Перейдемо від рівняння регресії з кодованими факторами до рівняння регресії з натуральними значеннями факторів, використовуючи вираз (4.3):

$$y = 7,34 + 1,99 \cdot \frac{X_1 - 17}{5} - 0,52 \cdot \frac{X_2 - 120}{60} = 1,614 + 0,398X_1 - 0,009X_2.$$

За рівнянням регресії побудована поверхня відгуку та її двомірні січення, що представлені на **рис. 4.3**.

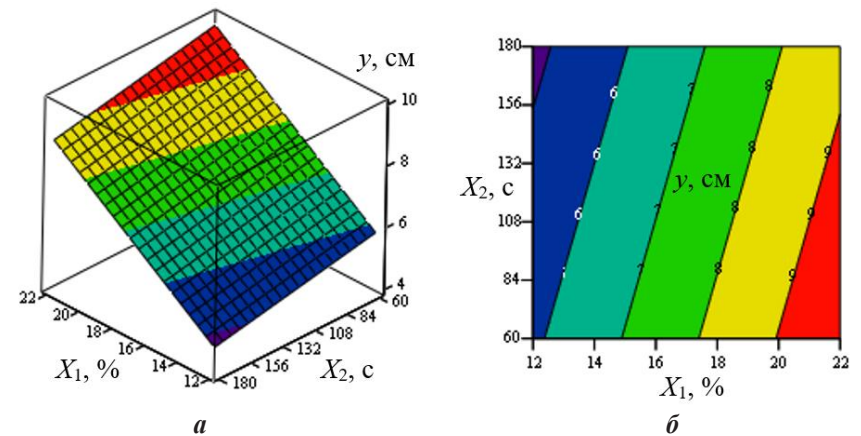


Рисунок 4.3 – Поверхня відгуку  $y$  (а) та її двомірні січення (б)

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 4.1.** Із використанням математичного методу планування експерименту досліджено вплив на комплексний показник якості  $y$  [бали] готової страви з харчового концентрату «Пудинг рисовий», що містить харчову добавку соєво-морквяний БВК (білково-вітамінний концентрат), двох факторів:  $X_1$  [%] – вміст соєво-морквяного БВК у харчовому концентраті «Пудинг рисовий»;  $X_2$  [мм] – діаметр гранул соєво-морквяного БВК. Результати кодування двох факторів подані в **таблиці 4.4**. План-матриця експерименту та результати його реалізації подані в **таблиці 4.5**. Необхідно провести оброблення результатів експерименту та скласти рівняння регресії з натуральними значеннями факторів. За рівнянням регресії побудувати поверхню відгуку та її двомірні січення. Провести аналіз результатів експериментального дослідження.

Таблиця 4.4 – Результати кодування факторів

Позначення факторів та розмірність		Інтервал варіювання факторів $\Delta X_i$	Рівні варіювання факторів					
натуральне	кодоване		натуральні			кодовані		
			$X_{\min}$	$X_{0i}$	$X_{\max}$	$X_{\min}$	$X_{0i}$	$X_{\max}$
$X_1$ , %	$x_1$	15	5	20	35	-1	0	+1
$X_2$ , мм	$x_2$	1	2	3	4	-1	0	+1

Таблиця 4.5 – План-матриця експерименту

Номер досліджу <i>u</i>	Значення кодованих факторів		Відгуки, бали		
	$x_1$	$x_2$	$y_{u1}$	$y_{u2}$	$y_{u3}$
1	2	3	4	5	6
1	-1	-1	23,5	23,7	23,1
2	+1	-1	24,9	24,5	24,6
3	-1	+1	22,8	22,4	22,5
4	+1	+1	23,9	24,0	24,3

## 4.2 Класичний метод оптимізації. Метод множників Лагранжа

**Оптимізація** – це процес вибору найкращого варіанта з множини усіх можливих. **Критерій оптимальності** – це ознаки, за якими необхідно провести порівняльне оцінювання альтернатив та обрати поміж них найкращу з погляду мети оптимізації. Якщо критерій оптимальності один, то **задача** називається **однокритеріальною**, в іншому випадку – **багатокритеріальною** [100–102].

**Математична модель оптимізації** – це модель, яка описує об'єкт за допомогою співвідношень між величинами, що характеризують його властивості. Величини, що змінюються під час оптимізації та входять в математичну модель об'єкта оптимізації, називають **параметрами оптимізації**, а співвідношення, що встановлюють межі можливої зміни цих параметрів, – **обмеженнями** [100–102].

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

$$f'(x) = 0. \quad (4.16)$$

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

$$\nabla_z = \left( \frac{\partial f(X)}{\partial x_1}; \frac{\partial f(X)}{\partial x_2}; \dots; \frac{\partial f(X)}{\partial x_n} \right), \quad (4.17)$$

де  $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Необхідною умовою існування екстремуму в точці  $X_0$  функції багатьох змінних  $z=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  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  $z=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  сформуємо матрицю Гессе, яка складається з частинних похідних другого порядку:

$$H = \left\| \frac{\partial^2 f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i \partial x_j} \right\|, \quad (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}). \quad (4.18)$$

Матриця  $H$  є симетричною, її головні мінори [103–105]:

$$M_1 = |f_{11}|, \quad M_2 = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{vmatrix}, \dots, \quad M_n = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nn} \end{vmatrix}, \quad (4.19)$$

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

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

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

$$z=f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max(\min), \quad (4.20)$$

за умов

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4.21)$$

де функції  $f, g_i$  – двічі неперервні диференційовані функції.

Ця ЗНП – це задача на умовний екстремум або **класична задача оптимізації**. Умови (4.21) називаються **рівняннями зв'язку**. Для визначення оптимальних точок цієї задачі введемо невід'ємні сталі множники  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ , які називаються **множниками Лагранжа**.

Формуємо **функцію Лагранжа**:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^m \lambda_i (b_i - g_i(x_1, x_2, \dots, x_n)). \quad (4.22)$$

Відшукування умовного екстремуму задачі зводиться до знаходження безумовного екстремуму функції Лагранжа (4.22).

**Алгоритм методу множників Лагранжа** [100–103]:

- формування функції Лагранжа (4.22) для задачі (4.20)–(4.21);
- визначення частинних похідних від функції Лагранжа за змінними  $x_j$  і  $\lambda_i$  та прирівнювання їх до нуля;
- формування системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_j} &= \frac{\partial f}{\partial x_j} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot \frac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0, (j = \overline{1, n}); \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} &= b_i - g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, (i = \overline{1, m}). \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

- визначення стаціонарних точок  $X^* = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  та  $\lambda^* = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$  шляхом розв'язання системи (4.23), в яких цільова функція може мати екстремум;

- вибір поміж стаціонарних точок  $X^* = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  функції  $L$  таких, в яких функція  $f$  має умовні екстремуми за наявних обмежень; характер оптимальності з'ясовують аналогічно, як і у випадку безумовного екстремуму;

- обчислення значення функції (4.20) у вибраних точках.

#### Приклад 4.2

За результатами дослідження впливу вмісту нітриту натрію ( $\text{NaNO}_2$ )  $x_1$  [г/100 кг] та бактеріального нітритредуючого препарату  $x_2$  [г/100 кг] на стійкість кольору  $y$  [%] варених ковбас отримано рівняння регресії [104]:

$$y = 14,32 + 12,512x_1 - 1,12x_1^2 + 2,61x_2 - 0,06x_2^2 + 0,1x_1x_2.$$

Визначимо вміст нітриту натрію та бактеріального нітритредуючого препарату, що забезпечить максимальну стійкість кольору.

Цільова функція:

$$y(x_1, x_2) = 14,32 + 12,512x_1 - 1,12x_1^2 + 2,61x_2 - 0,06x_2^2 + 0,1x_1x_2 \rightarrow \max.$$

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

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

Прирівняємо похідні до нуля та знайдемо критичну точку:

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

Із першого рівняння системи знайдемо  $x_2$ :

$$x_2 = 22,4x_1 - 125,12.$$

Підставимо  $x_2$  у друге рівняння системи, після перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} 2,61 - 2,69x_1 + 15,01 + 0,1x_1 &= 0, \\ x_1 &= 6,8 \text{ г/100 кг.} \end{aligned}$$

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  $y = f(x_1, x_2)$ :

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

Сформуємо матрицю Гессе:

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

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 по чергово 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 ( $\text{NaNO}_2$ )  $x_1 = 6,8$  г/100 кг і бактеріального нітритредуючого препарату  $x_2 = 27,2$  г/100 кг стійкість кольору варених ковбас буде максимальною (рис. 4.4):

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

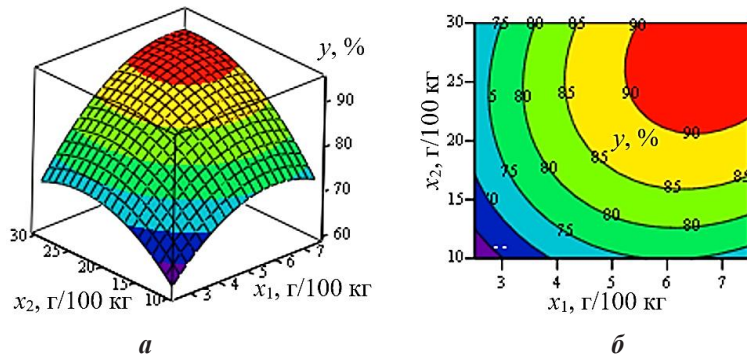


Рисунок 4.4 – Поверхня відгуку  $y$  (а) та її двомірні січення (б)

### Приклад 4.3

За результатами дослідження впливу на плинність клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю  $y$  [с] концентрації кислоти  $\text{HCl}$   $x_1$  [н], тривалості  $x_2$  [год] та температури  $x_3$  [°C] процесу оброблення отримано рівняння регресії [105]:

$$y = 109,386 - 32,736x_1 + 0,486x_2 - 0,684x_3 + 53,871x_1^2 + 0,009x_2^2 + 0,012x_3^2 - 0,13x_1x_2 - 0,031x_1x_3 - 0,017x_2x_3.$$

Визначимо значення концентрації кислоти  $\text{HCl}$   $x_1$ , тривалості  $x_2$  та температури  $x_3$  процесу оброблення, за яких буде забезпечено мінімальну плинність клейстеру  $y$ .

Цільова функція:

$$y(x_1, x_2, x_3) = 109,386 - 32,736x_1 + 0,486x_2 - 0,684x_3 + 53,871x_1^2 + 0,009x_2^2 + 0,012x_3^2 - 0,13x_1x_2 - 0,031x_1x_3 - 0,017x_2x_3 \rightarrow \min.$$

Частинні похідні першого порядку від функції  $y = f(x_1, x_2, x_3)$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = -32,736 + 107,742x_1 - 0,13x_2 - 0,031x_3; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0,486 + 0,018x_2 - 0,13x_1 - 0,017x_3; \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = -0,684 + 0,024x_3 - 0,031x_1 - 0,017x_2. \end{cases}$$

Прирівнюємо похідні до нуля та знайдемо критичну точку:

$$\begin{cases} -32,736 + 107,742x_1 - 0,13x_2 - 0,031x_3 = 0; \\ 0,486 + 0,018x_2 - 0,13x_1 - 0,017x_3 = 0; \\ -0,684 + 0,024x_3 - 0,031x_1 - 0,017x_2 = 0. \end{cases}$$

Розв'язуючи систему рівнянь, отримаємо:

$$x_1 = 0,323 \text{ н}; x_2 = 7,997 \text{ год}; x_3 = 34,582 \text{ °C}.$$

Критична точка має координати  $X_0 = (0,323; 7,997; 34,582)$ .

Частинні похідні другого порядку від функції  $y=f(x_1, x_2, x_3)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} &= 107,742; & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} &= -0,13; & \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} &= -0,13; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} &= 0,018; & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_3} &= -0,031; & \frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_1} &= -0,031; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_3^2} &= 0,024; & \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_3} &= -0,017; & \frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_2} &= -0,017. \end{aligned}$$

Сформуємо матрицю Гессе:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_3} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_3} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_1} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_2} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_3^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 107,742 & -0,130 & -0,031 \\ -0,130 & 0,018 & -0,017 \\ -0,031 & -0,017 & 0,024 \end{bmatrix}.$$

Головні мінори матриці  $H$ :

$$M_1 = 107,742 > 0;$$

$$M_2 = \begin{vmatrix} 107,742 & -0,130 \\ -0,130 & 0,018 \end{vmatrix} = 107,742 \cdot 0,018 - (-0,13) \cdot (-0,13) = 1,92 > 0.$$

Головний мінор  $M_3$  обчислюється за правилом:

$$\begin{aligned} M_3 &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - \\ &- \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_3 &= \begin{vmatrix} 107,742 & -0,130 & -0,031 \\ -0,13 & 0,018 & -0,017 \\ -0,031 & -0,017 & 0,024 \end{vmatrix} = 107,742 \cdot 0,018 \cdot 0,024 + \\ &+ (-0,031) \cdot (-0,13) \cdot (-0,017) + (-0,13) \cdot (-0,017) \cdot (-0,031) - \\ &- (-0,031) \cdot 0,018 \cdot (-0,031) - (-0,13) \cdot (-0,13) \cdot 0,024 - \\ &- 107,742 \cdot (-0,017) \cdot (-0,017) = 0,015 > 0. \end{aligned}$$

Оскільки головні мінори  $M_1=107,742>0$ ,  $M_2=1,92>0$ ,  $M_3=0,015>0$ , то  $X_0=(0,323; 7,997; 34,582)$  – це точка локального мінімуму.

Отже, за концентрації кислоти  $\text{HCl}$   $x_1=0,323$  н, тривалості оброблення  $x_2=7,997$  год та температури оброблення  $x_3=34,582^\circ\text{C}$  плинність клейстеру крохмалю буде мінімальною (рис. 4.5):

$$\begin{aligned} y &= 109,386 - 32,736 \cdot 0,323 + 0,486 \cdot 7,997 - 0,684 \cdot 34,582 + 53,871 \cdot 0,323^2 + \\ &+ 0,009 \cdot 7,997^2 + 0,012 \cdot 34,582 - 0,13 \cdot 0,323 \cdot 7,997 - \\ &- 0,031 \cdot 0,323 \cdot 34,582 - 0,017 \cdot 7,997 \cdot 34,582 = 94,21 \text{ с.} \end{aligned}$$

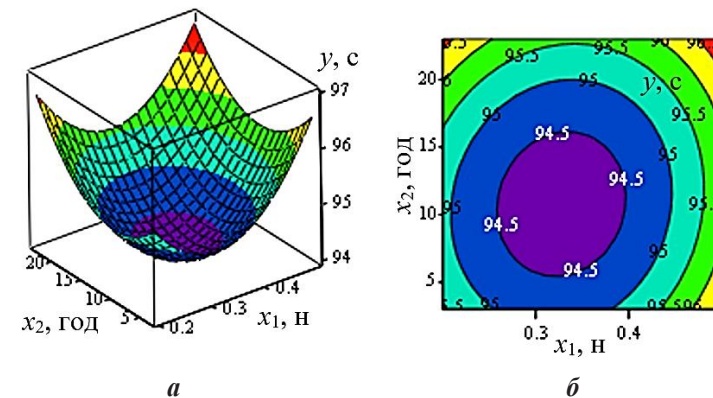


Рисунок 4.5 – Поверхня відгуку  $y$  (а) та її двомірні січення (б) за  $x_3=37,5^\circ\text{C}$

#### Приклад 4.4

На консервному заводі працює дві паралельні ділянки миття та нарізування овочів технологічної лінії виробництва овочевих консервів. На цих ділянках спостерігаються втрати овочів, які описуються рівняннями:

- для першої ділянки:

$$y_1 = 2,5 \cdot 10^{-4} x_1^2 + 1,7 \cdot 10^{-2} x_1;$$

- для другої ділянки:

$$y_2 = 1,9 \cdot 10^{-4} x_2^2 + 1,2 \cdot 10^{-2} x_2,$$

де  $y_1, y_2$  – втрати овочів, відповідно, на першій та другій ділянках, кг;  $x_1, x_2$  – маса овочів, що надходять, відповідно, на першу та другу ділянки, кг/год.

Визначити, який має бути розподіл витрат овочів між двома ділянками технологічної лінії для того, щоб їх втрати були мінімальними. Загальна витрата овочів (на дві ділянки) 800 кг/год.

Цільова функція (загальні втрати овочів на двох ділянках):

$$y = y_1 + y_2 = 2,5 \cdot 10^{-4} x_1^2 + 1,7 \cdot 10^{-2} x_1 + 1,9 \cdot 10^{-4} x_2^2 + 1,2 \cdot 10^{-2} x_2 \rightarrow \min.$$

Оскільки має забезпечуватися загальна витрата овочів 800 кг/год, відповідно, обмеження матиме вигляд:

$$x_1 + x_2 = 800.$$

Сформуємо функцію Лагранжа:

$$L(x_1, x_2, \lambda) = 2,5 \cdot 10^{-4} x_1^2 + 1,7 \cdot 10^{-2} x_1 + 1,9 \cdot 10^{-4} x_2^2 + 1,2 \cdot 10^{-2} x_2 + \lambda(800 - x_1 - x_2).$$

Частинні похідні від функції Лагранжа  $L(x_1, x_2, \lambda)$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x_1} = 5 \cdot 10^{-4} x_1 + 1,7 \cdot 10^{-2} - \lambda; \\ \frac{\partial L}{\partial x_2} = 3,8 \cdot 10^{-4} x_2 + 1,2 \cdot 10^{-2} - \lambda; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 800 - x_1 - x_2. \end{cases}$$

Прирівняємо похідні до нуля та обчислимо  $x_1, x_2$  та  $\lambda$ :

$$5 \cdot 10^{-4} x_1 + 1,7 \cdot 10^{-2} - \lambda = 0;$$

$$3,8 \cdot 10^{-4} x_2 + 1,2 \cdot 10^{-2} - \lambda = 0;$$

$$800 - x_1 - x_2 = 0.$$

Із першого та другого рівняння системи отримаємо:

$$x_1 = \frac{\lambda - 1,7 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-4}} \text{ та } x_2 = \frac{\lambda - 1,2 \cdot 10^{-2}}{3,8 \cdot 10^{-4}}.$$

Після підставлення отриманих виразів у третє рівняння системи та спрощення, матимемо:

$$\lambda = 0,187.$$

У результаті розв'язання системи рівнянь отримаємо:

$$\lambda = 0,187, x_1 = 340 \text{ кг/год та } x_2 = 460 \text{ кг/год.}$$

Дослідимо точку  $X_0 = (340; 460)$  на оптимальність.

Визначимо частинні похідні другого порядку від функції  $y(x_1, x_2)$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = 5 \cdot 10^{-4}; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = 3,8 \cdot 10^{-4}; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} = 0; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} = 0. \end{cases}$$

Сформуємо матрицю Гессе:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \cdot 10^{-4} & 0 \\ 0 & 3,8 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}.$$

Головні мінори матриці  $H$ :

$$M_1 = 5 \cdot 10^{-4} > 0;$$

$$M_2 = \begin{vmatrix} 5 \cdot 10^{-4} & 0 \\ 0 & 3,8 \cdot 10^{-4} \end{vmatrix} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 3,8 \cdot 10^{-4} - 0 \cdot 0 = 19 \cdot 10^{-8} > 0.$$

Оскільки головні мінори  $M_1 = 5 \cdot 10^{-4} > 0$  та  $M_2 = 19 \cdot 10^{-8} > 0$ , то точка  $X_0 = (340; 460)$  – це точка локального мінімуму.

Отже, за витрат овочів  $x_1 = 340$  кг/год та  $x_2 = 460$  кг/год на двох ділянках технологічної лінії виробництва овочевих консервів буде забезпечено мінімальні їх втрати:

- для першої ділянки:

$$y_1 = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 340^2 + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot 340 = 34,7 \text{ кг/год};$$

- для другої ділянки:

$$y_2 = 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 460^2 + 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot 460 = 45,7 \text{ кг/год};$$

- загальні втрати овочів:

$$y = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 340^2 + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot 340 + 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 460^2 + 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot 460 = 80,4 \text{ кг/год}.$$

#### Приклад 4.5

Необхідно обґрунтувати розміри брикету для харчового концентрату «Суп гороховий із куркою». Площа поверхні брикету має бути мінімальною, щоб використовувалася мінімальна кількість пакувального матеріалу. Маса брикету харчового концентрату  $m = 0,18$  кг. Густина харчового концентрату «Суп гороховий із куркою»  $\rho = 1070$  кг/м<sup>3</sup>.

Цільовою функцією є площа поверхні брикету (рис. 4.6):

$$y = 2x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3 \rightarrow \min ,$$

де  $y$  – площа поверхні брикету, м<sup>2</sup>;  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  – відповідно, довжина, висота та ширина брикету, м.

Об'єм брикету харчового концентрату «Суп гороховий із куркою»:

$$V = x_1x_2x_3 ,$$

де  $V$  – об'єм брикету, м<sup>3</sup>.

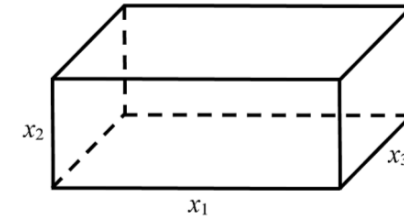


Рисунок 4.6 – Схема до обґрунтування розмірів брикету

Із другого боку, об'єм брикету харчового концентрату «Суп гороховий із куркою»:

$$V = \frac{m}{\rho} ,$$

де  $m$  – маса брикету харчового концентрату «Суп гороховий із куркою», кг;  $\rho$  – густина харчового концентрату «Суп гороховий із куркою», кг/м<sup>3</sup>.

Отже, ширину брикету  $x_3$  можна записати:

$$x_3 = \frac{V}{x_1x_2} = \frac{m}{x_1x_2\rho} .$$

Підставимо  $x_3$  в цільову функцію:

$$y(x_1, x_2) = 2x_1x_2 + 2\frac{m}{x_2\rho} + 2\frac{m}{x_1\rho} .$$

Частинні похідні першого порядку від цільової функції  $y$ :

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 2x_2 - 2\frac{m}{x_1^2\rho} ; \quad \frac{\partial y}{\partial x_2} = 2x_1 - 2\frac{m}{x_2^2\rho} .$$

Прирівнюємо похідні до нуля:

$$\begin{cases} 2x_2 - 2\frac{m}{x_1^2\rho} = 0; \\ 2x_1 - 2\frac{m}{x_2^2\rho} = 0. \end{cases}$$

Із другого рівняння системи знайдемо:

$$x_1 = \frac{m}{x_2^2\rho} .$$

Підставимо значення  $x_1$  в перше рівняння системи:

$$2x_2 - 2\frac{\rho}{m}x_2^4 = 0.$$

Корені рівняння:

$$x_2 = 0 \text{ та } x_2 = \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}}.$$

Оскільки висота брикету не може бути рівною нулю, то приймаємо:

$$x_2 = \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{0,18}{1070}} = 0,055 \text{ м; } x_1 = \frac{m}{x_2^2 \rho} = \frac{0,18}{0,055^2 \cdot 1070} = 0,056 \text{ м.}$$

Критична точка має координати  $X_0 = (0,055; 0,056)$ .

Визначимо частинні похідні другого порядку від функції  $y(x_1, x_2)$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = 4 \frac{m}{x_1^3 \rho}; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = 4 \frac{m}{x_2^3 \rho}; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} = 2; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} = 2. \end{cases}$$

Сформуємо матрицю Гессе:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \frac{m}{x_1^3 \rho} & 2 \\ 2 & 4 \frac{m}{x_2^3 \rho} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,83 & 2 \\ 2 & 4,04 \end{bmatrix}.$$

Головні мінори матриці  $H$ :

$$M_1 = 3,83 > 0; \\ M_2 = \begin{vmatrix} 3,83 & 2 \\ 2 & 4,04 \end{vmatrix} = 3,83 \cdot 4,04 - 2 \cdot 2 = 11,47 > 0.$$

Оскільки головні мінори матриці  $M_1 = 3,83 > 0$  та  $M_2 = 11,47 > 0$ , то точка  $X_0 = (0,055; 0,056)$  – це точка локального мінімуму.

Обчислимо ширину брикету:

$$x_3 = \frac{m}{x_1 x_2 \rho} = \frac{0,18}{0,056 \cdot 0,055 \cdot 1070} = 0,055 \text{ м.}$$

Отже, найменше пакувального матеріалу буде використано, якщо розміри брикету харчового концентрату «Суп гороховий із куркою» будуть  $5,6 \times 5,5 \times 5,5$  см. Площа поверхні брикету за цих розмірів:

$$y = 2 \cdot 0,056 \cdot 0,055 + 2 \cdot 0,056 \cdot 0,055 + 2 \cdot 0,055 \cdot 0,055 = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 4.2.** За результатами дослідження впливу вологості  $x_1$  [%] насіння кунжуту та тривалості його оброблення  $x_2$  [с] надвисокочастотним випромінюванням на вміст  $y$  [%] амінного азоту після ферментативного гідролізу білка отримано рівняння регресії [106]:

$$y = 11,2409 + 0,8292x_1 + 0,0978x_2 - 0,0342x_1^2 - 0,0002x_2^2 + 0,0001x_1x_2.$$

Визначити вологість насіння кунжуту та тривалість його оброблення надвисокочастотним випромінюванням, що забезпечать максимальний вміст амінного азоту після ферментативного гідролізу білка. Побудувати поверхню відгуку  $y$  та її двомірні січення для  $x_1 \in [7; 15]$  та  $x_2 \in [100; 350]$ .

**Завдання 4.3.** За результатами дослідження впливу масової частки стабілізатора консистенції  $x_1$  [%] та масової частки емульгатора  $x_2$  [%] на консистенцію  $y$  [бали] молочно-жирової емульсії (масова частка жиру 35 %) отримано рівняння регресії [107]:

$$y = 4,9 + 0,45x_1 + 0,13x_2 - 0,88x_1^2 - 0,63x_2^2 + 0,075x_1x_2.$$

Визначити масову частку стабілізатора консистенції та масову частку емульгатора, що забезпечать максимальний бал консистенції молочно-жирової емульсії. Побудувати поверхню відгуку  $y$  та її двомірні січення для  $x_1 \in [0; 2]$  та  $x_2 \in [0; 1]$ .

**Завдання 4.4.** За результатами дослідження впливу масової частки обліпихового порошку інфрачервоного сушіння  $x_1$  [%] та масової частки гарбузового порошку інфрачервоного сушіння  $x_2$  [%] на густину  $y$  [г/см<sup>3</sup>] сирного десерту отримано рівняння регресії [108]:

$$y = 0,8693 - 0,0688x_1 - 0,0692x_2 + 0,0249x_1^2 + 0,0524x_2^2 - 0,0166x_1x_2.$$

Визначити масові частки обліпихового та гарбузового порошоків, що забезпечать мінімальну густину сирного десерту. Побудувати поверхню відгуку  $y$  та її двомірні січення для  $x_1 \in [0,8; 2,2]$  та  $x_2 \in [0,5; 1,5]$ .

**Завдання 4.5.** За результатами дослідження впливу масової частки ікри морських їжаків  $x_1$  [г/100 г] та масової частки ламінарії  $x_2$  [г/100 г] на показник якості  $y$  [бали] майонезного соусу отримано рівняння регресії [109]:

$$y = 15,55 + 0,53x_1 + 0,15x_2 - 0,03x_1^2 - 0,01x_2^2.$$

Визначити масові частки ікри морських їжаків та ламінарії, що забезпечать максимальне значення показника якості майонезного соусу. Побудувати поверхню відгуку показника якості  $y$  та її двомірні січення для  $x_1 \in [2; 16]$  та  $x_2 \in [4; 18]$ .

**Завдання 4.6.** За результатами дослідження впливу масових часток меланжу  $x_1$  [відносних од.], цукру  $x_2$  [відносних од.] та борошна кукурудзяного екструдованого  $x_3$  [відносних од.] на пористість  $y$  [%] бісквітного напівфабрикату отримано рівняння регресії [110]:

$$y = -371,85 + 625x_1 + 1100,78x_2 + 1263,06x_3 - 625x_1^2 - 2393x_2^2 - 2339x_3^2.$$

Визначити масові частки меланжу, цукру та борошна кукурудзяного екструдованого у відносних одиницях, що забезпечать максимальне значення пористості бісквітного напівфабрикату. Побудувати поверхню відгуку  $y$  та її двомірні січення для  $x_1 \in [0; 1]$ ,  $x_2 \in [0; 1]$  та  $x_3 = 0,27$ .

**Завдання 4.7.** У лінії виробництва макаронних виробів паралельно працюють три макаронних преси. У преси надходить борошно з витратами  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  [кг/год]. Загальна витрата борошна  $x_1 + x_2 + x_3 = 75$  кг/год. Вихід макаронних виробів визначається рівняннями:

- для першого преса:

$$y_1 = 29 - 0,007x_1^2;$$

- для другого преса:

$$y_2 = 29 - 0,006x_2^2;$$

- для третього преса:

$$y_3 = 29 - 0,005x_3^2,$$

де  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  – продуктивність за макаронними виробами, відповідно, першого, другого та третього макаронних пресів, кг/год.

Визначити, яким має бути розподіл витрат борошна між трьома макаронними пресами для того, щоб загальний вихід макаронних виробів з технологічної лінії був максимальним. Обчислити максимальний вихід макаронних виробів з технологічної лінії.

### 4.3 Слабкі критерії оптимальності. Множина Парето

**Слабкі критерії** оптимальності дозволяють виділити множину рівноцінних об'єктів (альтернатив), кожний з яких можна віднести до найкращих, що не мають переваг один перед одним. Нехай, маємо множину об'єктів, що характеризується деякою сукупністю часткових критеріїв  $y_1$  і  $y_2$ . **Частковими** називають **критерії**, що характеризують тільки одну властивість об'єкта, який досліджується. Якщо задана область  $D$  допустимих значень часткових критеріїв (*рис. 4.7*) та значення усіх часткових критеріїв цього об'єкта потрапили в область  $D$ , то об'єкт вважається придатним [103]. Правило, що дозволяє відокремлювати об'єкти, які потрапили в область  $D$ , від тих, що не потрапили в неї, можна розглядати як слабкий критерій оптимальності, що відокремлює множину рівноцінних об'єктів. В області  $D$  жоден з об'єктів не має переваг перед іншими. Усі об'єкти рівноцінні, оскільки відповідають вимогам. Розташування об'єкта в області  $D$  не має значення. Якщо враховувати розташування, то об'єкти стануть нерівноцінними та критерій перестане бути слабким.

Множина об'єктів, що не мають переваг один перед одним одночасно за всіма частковими критеріями, називається **множиною Парето** [103].

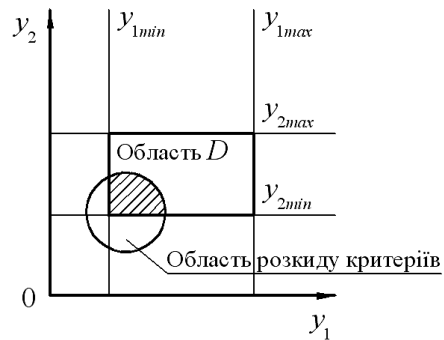


Рисунок 4.7 – Область розкиду критеріїв

Джерело інформації: [103]

#### Приклад 4.6

Нехай маємо множину зразків халви різних виробників, кожний з яких характеризується частковими критеріями: смак  $y_1 \uparrow$  [бали] та консистенція  $y_2 \uparrow$  [бали] (рис. 4.8). Зразки халви, органолептичні показники яких відповідають точкам 2, 3, 4, 8, утворюють множину Парето, оскільки кожен із зразків цієї множини кращий за інші за одним із критеріїв та гірший за іншим критерієм. Зразок 2 кращий зразків 3, 4, 8 за консистенцією та гірший за смаком, а зразок 8 кращий за смаком поміж інших, але гірший за консистенцією.

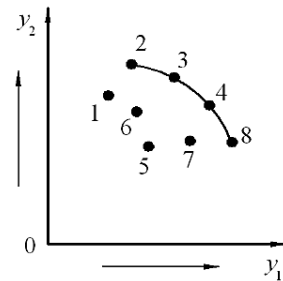


Рисунок 4.8 – Побудова множини Парето

Джерело інформації: [103]

Вигляд множини Парето залежить від необхідного спрямування часткових критеріїв (зростання  $y \uparrow$  чи спадання  $y \downarrow$ ). Спрямування часткового критерію – це напрямок покращення критерію. На рис. 4.9 подані приклади множини Парето для різних напрямків спрямування

часткових критеріїв, де стрілки вказують напрямок покращення критерію. Вид множини Парето легко визначити, якщо скористатися **правилом вітрила**, згідно з яким напрямок спрямування можна розглядати як напрямок вітру. Тоді вид множини Парето буде відповідати формі вітрила, що надувається одночасно двома вітрами.

Якщо є два часткових критерії  $y_1$  та  $y_2$  і вимоги до них  $a_1 < y_1 < a_2$  та  $b_1 < y_2 < b_2$ , які визначають прямокутну форму області допустимих розв'язків  $D$ , то взаємне розташування області  $D$  та множини Парето може бути різним (рис. 4.10) [103].

Нехай кожна альтернатива характеризується двома частковими критеріями  $y_1$  та  $y_2$ , де  $y_2$  – найбільш важливий критерій. Також накладено обмеження  $y_1 > a$ . Шукатимемо найкращу альтернативу за критерієм  $y_2$ , ураховуючи обмеження за  $y_1$ . Тоді альтернатива, що позначена точкою 1 (рис. 4.11), оптимальна, оскільки вона одночасно належить множині Парето, задовольняє обмеженням, що накладені на  $y_1$ , та в ній  $y_2$  має найкраще значення. Крайні точки множини Парето є точками екстремуму для одного з часткових критеріїв (рис. 4.12).

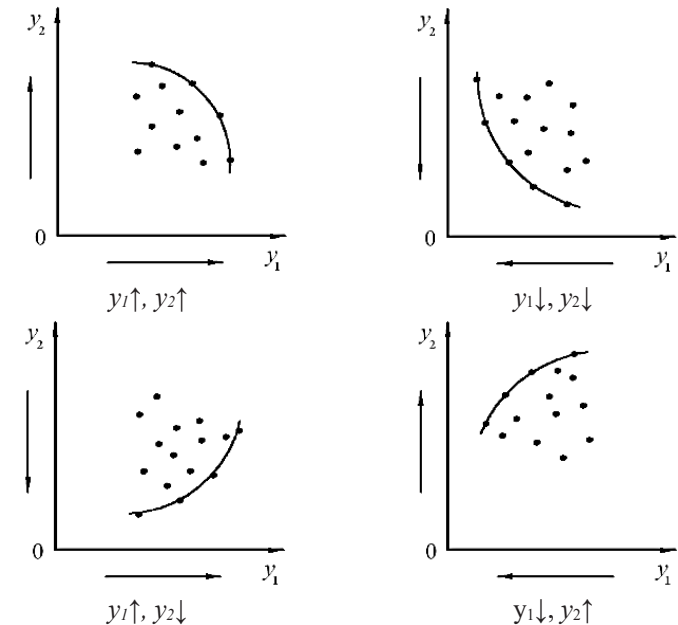


Рисунок 4.9 – Побудова множини Парето за різного спрямування часткових критеріїв

Джерело інформації: [103]

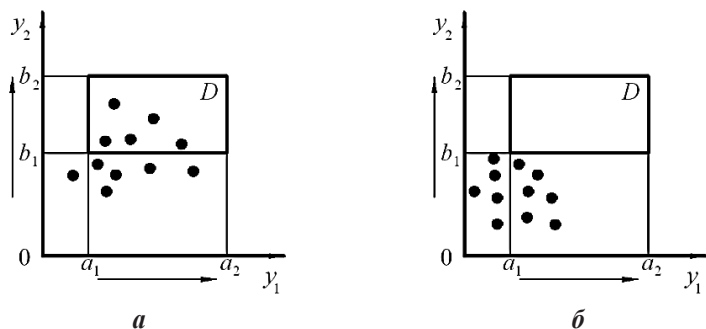


Рисунок 4.10 – Розташування множини Парето відносно області допустимих розв’язків  $D$  критеріїв  $y_1, y_2$ :  $a$  –множина Парето частково перебуває в області  $D$ ;  $b$  – множина Парето не перебуває в області  $D$

Джерело інформації: [103]

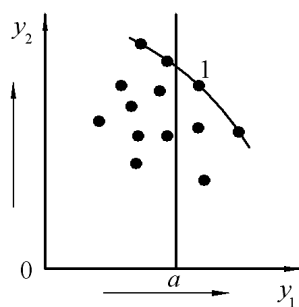


Рисунок 4.11 – Множина Парето з накладеними обмеженнями

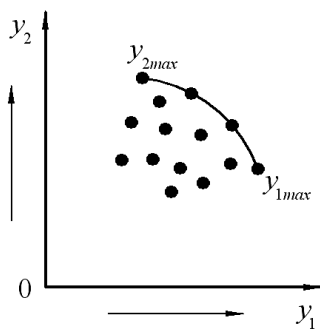


Рисунок 4.12 – Множина Парето та вимога екстремуму одного з критеріїв

Множина Парето може бути побудована як для кількісних, так і для якісних часткових критеріїв. У випадку якісних критеріїв на шкалі кількісних оцінок якісних критеріїв відкладаються ранги [103].

#### Приклад 4.7

Технологами запропоновано 10 рецептур йогурту з наповнювачем із ягід бузини, поміж яких необхідно обрати найкращу рецептуру за двома показниками: масова частка жиру  $y_1 \downarrow$  та смак йогурту  $y_2 \uparrow$ .

За результатами дослідження 10 зразків розроблених йогуртів визначені масова частка жиру та їх смак (**таблиця 4.6**). Масова частка жиру в йогурті не має перевищувати  $y_1 \leq 2,0\%$ , а смак йогурту має бути кисло-солодкий із присмаком бузини ( $y_2 \geq 4,0$  бали). Оцінювання смаку йогурту з наповнювачем із ягід бузини проходило за п’ятибальною шкалою: 5 – відмінний; 4 – хороший; 3 – задовільний; 2 – поганий (ледь прийнятний); 1 – дуже поганий. Найбільш важливим критерієм є масова частка жиру  $y_1$ .

Таблиця 4.6 – Результати дослідження зразків йогурту з наповнювачем із ягід бузини

Альтернатива (зразок йогурту)	Частковий критерій $y_1$ (масова частка жиру), %	Частковий критерій $y_2$ (смак йогурту), бали
1	1,8	4,5
2	1,5	4,0
3	1,7	4,0
4	1,9	3,6
5	2,2	4,2
6	2,0	4,1
7	1,3	3,5
8	2,1	4,8
9	2,1	3,5
10	2,3	4,5

Зобразимо дані **таблиці 4.6** на графіку (**рис. 4.13**). Зразки йогурту, що позначені точками 7, 2, 1, 8, утворюють множину Парето, оскільки кожен із зразків цієї множини кращий за інші за одним із критеріїв та гірший за іншим критерієм. Позначимо на графіку обмеження щодо масової частки жиру в йогурті з наповнювачем із ягід бузини  $y_1 \leq 2,0\%$ , а також позначимо умову щодо смаку йогурту  $y_2 \geq 4,0$  бали.

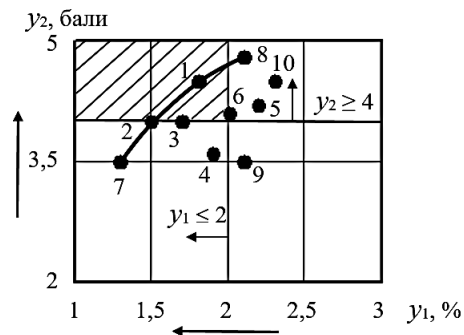


Рисунок 4.13 – Результати дослідження зразків йогурту за критеріями  $y_1$  і  $y_2$

Область допустимих розв'язків на *рис. 4.13* – заштрихована. Поміж точок множини Парето в межах області допустимих розв'язків перебувають точки (альтернативи) 1 та 2. Ураховуючи, що найбільш важливим критерієм є  $y_1$ , то поміж зразків йогурту 1 та 2 найкращим є 2 з параметрами: масова частка жиру  $y_1=1,5\%$ ; смак  $y_2=4$  бали. Отже, рецептура йогурту з наповнювачем із ягід бузини, за якою виготовлено зразок 2, є найкращою.

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 4.8.** Розроблено 10 рецептур столових низькокалорійних майонезів, поміж яких необхідно обрати найкращу за двома показниками: масова частка жиру  $y_1 \downarrow$  та консистенція  $y_2 \uparrow$ . У результаті дослідження 10 зразків майонезу, що виготовлені за розробленими рецептурами, визначені масова частка жиру та консистенція (*таблиця 4.7*). Масова частка жиру в низькокалорійному майонезі має бути  $30 \leq y_1 \leq 40\%$ , а консистенція має бути однорідна сметаноподібна ( $y_2 \geq 4$  бали). Оцінювання консистенції майонезу проходило за п'ятибальною шкалою: 5 – відмінна; 4 – хороша; 3 – задовільна; 2 – погана (ледь прийнятна); 1 – дуже погана (неприйнятна). Найбільш важливим критерієм є масова частка жиру  $y_2$ .

Таблиця 4.7 – Результати дослідження зразків майонезу

Альтернатива (зразок майонезу)	Частковий критерій $y_1$ (масова частка жиру), %	Частковий критерій $y_2$ (консистенція), бали
1	2	3
1	31,6	4,5

Закінчення таблиці 4.7

1	2	3
2	32,4	4,8
3	30,7	4,0
4	37,5	3,6
5	32,5	4,3
6	34,2	4,1
7	29,8	3,4
8	34,5	4,7
9	34,9	3,5
10	31,7	3,5

**Завдання 4.9.** Розроблено 8 рецептур десертів сиркових, поміж яких необхідно обрати найкращу за двома показниками: масова частка жиру  $y_1 \downarrow$  та масова частка вологи  $y_2 \downarrow$ . У результаті дослідження зразків десертів сиркових, що виготовлені за розробленими рецептурами, визначені масові частки жиру та вологи (*таблиця 4.8*). Масова частка жиру в десерті сирковому має бути  $y_1 \leq 6\%$ , а масова частка вологи  $y_2 \leq 68\%$ . Найбільш важливим критерієм є масова частка вологи  $y_2$ .

Таблиця 4.8 – Результати дослідження зразків десерту сиркового

Альтернатива (зразок десерту сиркового)	Частковий критерій $y_1$ (масова частка жиру), %	Частковий критерій $y_2$ (масова частка вологи), %
1	7,5	68,0
2	8,3	71,3
3	5,5	65,2
4	6,3	72,6
5	5,7	70,4
6	4,2	70,5
7	4,9	67,1
8	6,8	62,2

**Завдання 4.10.** Досліджено вміст вітаміну С  $y_1 \uparrow$  і пектину  $y_2 \uparrow$  в 12 сортах яблук (*таблиця 4.9*). Визначити два найбільш придатних сорти яблук для перероблення за умови, що чим більший вміст вітаміну С та пектину, то краще. Найбільш важливим критерієм є вміст пектину  $y_2$ .

Таблиця 4.9 – Результати дослідження яблук різних сортів

Альтернатива (сорт яблук)	Частковий критерій $y_1$ (вміст вітаміну С), мг/100 г	Частковий критерій $y_2$ (вміст пектину), % СР
1	15,5	7,2
2	16,3	6,7
3	17,2	5,3
4	15,0	6,3
5	12,1	5,5
6	11,3	4,9
7	10,6	6,3
8	10,6	7,6
9	6,8	4,2
10	9,8	5,1
11	13,0	8,2
12	13,0	6,4

**Завдання 4.11.** Технологами запропоновано 10 рецептур дієтичного паштету із курячої печінки та овочів, поміж яких необхідно обрати найкращу рецептуру за двома показниками: колір паштету  $y_1 \uparrow$  та масова частка жиру в паштеті  $y_2 \downarrow$ .

За результатами дослідження 10 зразків розроблених паштетів визначені колір паштетів та вміст жиру в них (таблиця 4.10). Масова частка жиру в дієтичному паштеті не має перевищувати  $y_2 < 15,5\%$ , а колір паштету має бути від світло-коричневого до сірого. Ранжування дієтичного паштету із курячої печінки та овочів за кольором: 1 – рожевий; 2 – світло-рожевий; 3 – світло-коричневий; 4 – коричнево-сірий; 5 – сірий. Найбільш важливим критерієм є масова частка жиру  $y_2$ .

Таблиця 4.10 – Результати дослідження зразків паштету із курячої печінки та овочів

Альтернатива (зразок паштету)	Частковий критерій $y_1$ (колір паштету), ранг	Частковий критерій $y_2$ (масова частка жиру), %
1	2	3
1	3	12,3
2	5	19,4
3	2	7,2
4	3	9,4
5	4	15,1
6	3	14,5
7	4	13,2
8	5	20,2
9	4	20,1
10	1	14,3

**Завдання 4.12.** Самостійно провести органолептичне оцінювання 8 зразків зефіру на агарі різних виробників за двома показниками: форма та стан поверхні  $y_1 \uparrow$ ; колір  $y_2 \uparrow$ . До оцінювання долучити щонайменше 7 експертів. Оцінювання провести за п'ятибальною шкалою: 5 – відмінна якість; 4 – хороша якість; 3 – задовільна якість; 2 – погана якість; 1 – дуже погана якість. Зобразити результати дослідження на графіку. Визначити, які зразки утворюють множину Парето. Обрати найкращий зразок з урахуванням, що найбільш важливим критерієм є форма та стан поверхні  $y_1 \geq 4$  бали. Для кольору зефіру має виконуватися умова  $y_2 \geq 4$  бали.

#### 4.4 МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГРАМУВАННЯ

Практичні задачі, які стоять перед технологами харчових виробництв, передбачають знаходження оптимальних розв'язків, зокрема оптимального використання обмежених ресурсів (сировини, енергії тощо), оптимальної рецептури та асортименту продукції. Одним з основних інструментів розв'язання задач оптимізації є математичне програмування. Задачу математичного програмування (екстремальну задачу) можна записати у вигляді:

$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max(\min), \quad (4.24)$$

за умови

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, =, \geq \} b_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (4.25)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4.26)$$

Функції  $f, g_i$  та числа  $b_i$  вважаються заданими. Умови (4.25) і (4.26) називаються **обмеженнями**, а функція (4.24) – **цільовою функцією**, яка виражає критерій оптимальності.

Вектор  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , який задовольняє умови (4.25) та (4.26), називається **допустимим розв'язком** чи **планом задачі** (4.25)–(4.26). Плану відповідає значення цільової функції, яке обчислюється за виразом (4.25). **Оптимальний план** – це план, за якого цільова функція набуває екстремального значення.



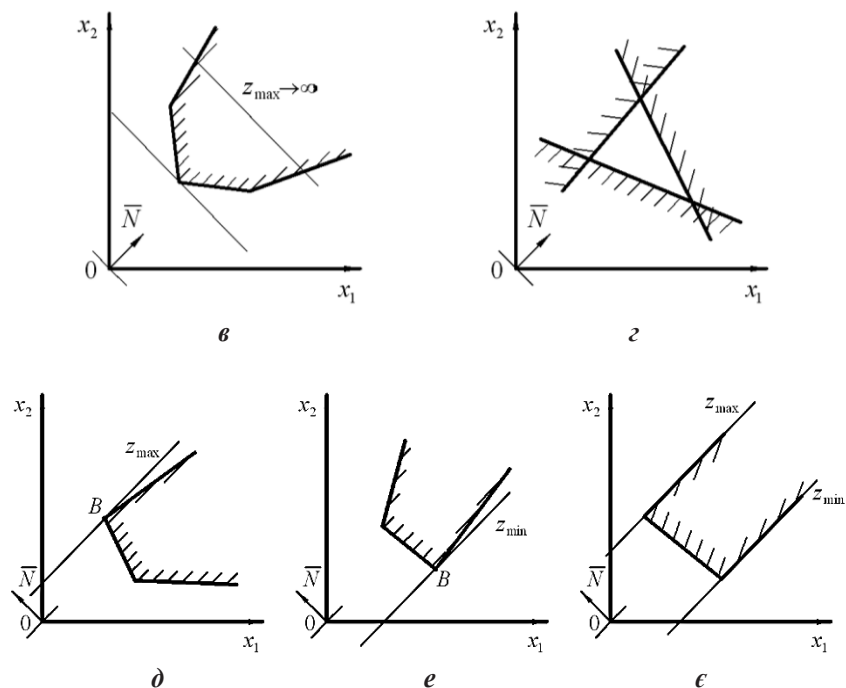


Рисунок 4.14 – Можливі випадки розв’язання ЗЛП графічним методом (продовження)

Джерело інформації: [103]

#### Приклад 4.8

На підприємстві встановлена технологічна лінія з виробництва зефіру двох видів. Основні рецептурні інгредієнти (цукор-пісок, патока, пюре яблучне, білок яєчний) для виробництва двох видів зефіру однакові і їх запаси на складі обмежені. Рецептурні інгредієнти, їх маса, необхідна для виготовлення 100 кг зефіру кожного виду, та їх добові запаси на підприємстві подані в **таблиці 4.11**. Решта рецептурних інгредієнтів на складі є в достатній кількості. Добове планове завдання передбачає виробництво не менше як 100 кг зефіру першого виду, але не більше ніж 500 кг. А добове планове завдання для виробництва зефіру другого виду – не менше як 100 кг зефіру, але не більше ніж 300 кг. Вартість 1 кг зефіру першого виду 150 грн, а зефіру другого виду – 170 грн. Необхідно визначити, скільки кілограм зефіру першого

виду  $x_1$  та зефіру другого виду  $x_2$  можна виготовити із запасів інгредієнтів на складі за умови забезпечення максимального об’єму випуску в грошовому еквіваленті.

Визначимо максимальне значення цільової функції, тобто максимальний об’єм випуску продукції (зефіру) в грошовому еквіваленті:

$$z = 150x_1 + 170x_2 \rightarrow \max,$$

де  $z$  – об’єм випуску зефіру в грошовому еквіваленті, грн;  $x_1, x_2$  – відповідно, маса зефіру першого та другого видів, кг; 150, 170 – коефіцієнти, що дорівнюють вартості 1 кг зефіру, відповідно, першого і другого видів, грн.

Таблиця 4.11 – Маса рецептурних інгредієнтів, що необхідна для виробництва 100 кг зефіру, та їх запаси на складі

Інгредієнти	Маса інгредієнтів, що необхідна для виробництва 100 кг зефіру, кг		Запаси інгредієнтів на складі, кг
	першого виду	другого виду	
Цукор-пісок	68	61	450
Патока	12	16	110
Пюре яблучне	40	50	460
Білок яєчний	6	7	45

Складемо обмеження, що визначають використання інгредієнтів на 1 кг готової продукції:

$$0,68x_1 + 0,61x_2 \leq 450; \quad (1) \quad x_1 \geq 100; \quad (5)$$

$$0,12x_1 + 0,16x_2 \leq 110; \quad (2) \quad x_1 \leq 500; \quad (6)$$

$$0,4x_1 + 0,5x_2 \leq 460; \quad (3) \quad x_2 \geq 100; \quad (7)$$

$$0,06x_1 + 0,07x_2 \leq 45; \quad (4) \quad x_2 \leq 300. \quad (8)$$

У перших чотирьох обмеженнях зліва записана сума витрат сировини на виробництво готової продукції в кількості  $x_1$  та  $x_2$ . Коефіцієнти при  $x_1$  та  $x_2$  – це витрати інгредієнтів на виробництво 1 кг продукції (значення беруться із **таблиці 4.11** та діляться на 100, оскільки в таблиці представлені витрати інгредієнтів на виробництво 100 кг продукції). Справа у перших чотирьох обмеженнях записані запаси інгредієнтів на складі. Відповідно, витрата сировини, що є в обмеженнях зліва, не може перевищувати запаси сировини на складі, тому знак

в обмеженнях « $\leq$ ». Останні чотири нерівності враховують обмеження на випуск кожного виду зефіру. Оскільки в задачі невідомих дві ( $x_1$  та  $x_2$ ), то цю задачу можна розв'язати графічним методом.

Побудуємо прямі лінії, рівняння яких отримаємо, замінивши знаки нерівності в обмеженнях на знаки рівності (рис. 4.15) та визначимо півплощини, що відповідають кожному обмеженню задачі. Для побудови прямої достатньо знати координати двох точок, які їй належать. Після визначення координат точок, через них проводять пряму. Продемонструємо побудову прямої, яка описується рівнянням, що отримали з першого обмеження:

$$0,68x_1 + 0,61x_2 = 450.$$

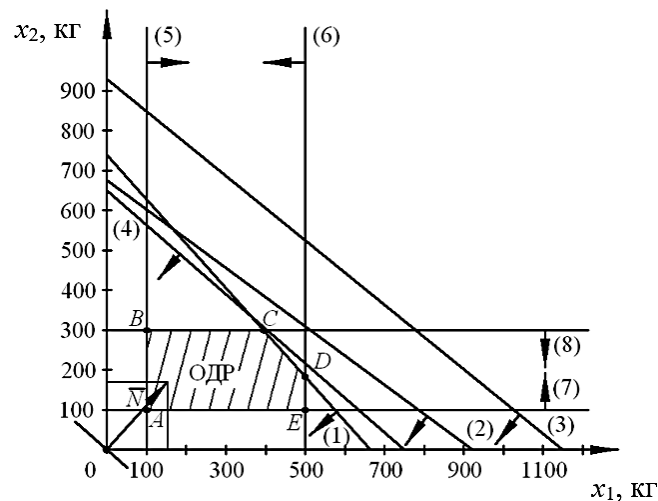


Рисунок 4.15 – Графічна інтерпретація ЗЛП

Підставимо в рівняння  $x_1=0$ , тоді  $x_2=450/0,61=737,7$  кг. Відповідно, координати першої точки  $(0;737,7)$ . Якщо в рівняння підставимо  $x_2=0$ , то  $x_1=450/0,68=661,8$  кг. Координати другої точки  $(661,8;0)$ . Проводимо через точки з координатами  $(0;737,7)$  та  $(661,8;0)$  пряму (1) (рис. 4.15). Визначимо півплощину, що відповідає обмеженню задачі (в якій знаходиться розв'язок). Для цього підставляємо в першу нерівність координати  $x_1=0$  та  $x_2=0$ :

$$0,68 \cdot 0 + 0,61 \cdot 0 \leq 450.$$

Оскільки значення, яке отримали зліва, тобто 0, задовольняє нерівність, то нерівність задовольнятимуть всі точки півплощини, яка містить початок координат. На рис. 4.15 позначимо цю півплощину стрілкою, яка спрямована від прямої.

Аналогічним чином відбувається побудова всіх прямих, які отримані з обмежень задачі, та визначення півплощини, в яких перебуває розв'язок задачі. Область, в якій всі півплощини накладаються, є областю допустимих розв'язків (ОДР) (на рис. 4.15 – ОДР заштрихована).

Будуємо вектор  $\bar{N} = (150;170)$ , який виходить з початку координат, та задає напрямок зростання значень цільової функції задачі. Після цього будемо пряму, що перпендикулярна до нього.

Рухаючи пряму  $150x_1 + 120x_2 = const$  в напрямку вектора  $\bar{N}$ , визначимо вершину багатокутника розв'язків (останню спільну точку графіка цільової функції та області допустимих розв'язків), де цільова функція досягає екстремального значення. У цьому випадку – це точка C. Визначимо координати точки C, в якій цільова функція набуває максимального значення. У цій точці перетинаються прямі (1) та (8):

$$\begin{cases} 0,68x_1 + 0,61x_2 = 450; \\ x_2 = 300. \end{cases}$$

Розв'язуючи систему рівнянь (1) та (8), визначимо координати точки C  $(392,6; 300)$ .

Екстремальне значення цільової функції в точці C:

$$z_c = 150x_1 + 120x_2 = 150 \cdot 392,6 + 170 \cdot 300 = 109\,890 \text{ грн.}$$

Отже, за наявних запасів сировини на складі максимальний об'єм випуску продукції у грошовому еквіваленті 109 890 грн можна отримати, якщо підприємство виробить зефіру першого виду в кількості 392,6 кг та зефіру другого виду в кількості 300 кг. Під час виробництва зефіру двох видів буде використано сировини:

- цукру-піску:

$$m_{c1} = 0,68x_1 + 0,61x_2 = 0,68 \cdot 392,6 + 0,61 \cdot 300 = 450,0 \text{ кг;}$$

- патоки:

$$m_{c2} = 0,12x_1 + 0,16x_2 = 0,12 \cdot 392,6 + 0,16 \cdot 300 = 95,1 \text{ кг;}$$

- яблучного пюре:

$$m_{c3} = 0,4x_1 + 0,5x_2 = 0,4 \cdot 392,6 + 0,5 \cdot 300 = 307,0 \text{ кг;}$$

- яєчного білка:

$$m_{c4} = 0,06x_1 + 0,07x_2 = 0,06 \cdot 392,6 + 0,07 \cdot 300 = 44,6 \text{ кг.}$$

Приклад розв'язування цієї задачі в системі комп'ютерної алгебри Mathcad14 подано на **рис. 4.16**.

ORIGIN := 1

$z(x_1, x_2) := 150 \cdot x_1 + 170 \cdot x_2$  цільова функція

$x_1 := 1 \quad x_2 := 1$  початкові наближення

Given початок блоку розв'язування задачі

$$0,68 \cdot x_1 + 0,61 \cdot x_2 \leq 450$$

$$0,12 \cdot x_1 + 0,16 \cdot x_2 \leq 110$$

$$0,4 \cdot x_1 + 0,5 \cdot x_2 \leq 460$$

$$0,06 \cdot x_1 + 0,07 \cdot x_2 \leq 45$$

обмеження задачі

$$x_1 \geq 100$$

$$x_1 \leq 500$$

$$x_2 \geq 100$$

$$x_2 \leq 300$$

R := Maximize(z, x1, x2) пошук максимуму цільової функції

$$R = \begin{pmatrix} 392,647 \\ 300 \end{pmatrix} \text{ розв'язок задачі}$$

$$z(392,6, 300) = 1.099 \cdot 10^5 \text{ значення цільової функції}$$

Рисунок 4.16 – Розв'язування прикладу 4.8 засобами Mathcad14

### Приклад 4.9

Розробити рецептуру суміші для приготування сніданків, яка містить вівсяні пластівці та родзинки. При цьому, калорійність суміші має бути мінімальною. Маса нетто суміші в упаковці 0,45 кг. Вміст вівсяних пластівців у суміші не може бути більшим за 90 % та меншим ніж 70 %. Суміш для сніданків має містити: не менше 9 % білків; не більше 5,5 % жирів; не менше 60 % вуглеводів. Вміст поживних

речовин у вівсяних пластівцях та родзинках, а також їх калорійність подані в **таблиці 4.12**.

Необхідно знайти мінімальне значення цільової функції (мінімальну калорійність суміші):

$$z = 3520x_1 + 2640x_2 \rightarrow \min,$$

де  $z$  – калорійність суміші вівсяних пластівців та родзинок, ккал;  $x_1, x_2$  – відповідно, маса вівсяних пластівців та родзинок у суміші, кг; 3520, 2640 – коефіцієнти, що вказують калорійність 1 кг, відповідно, вівсяних пластівців та родзинок, ккал.

Таблиця 4.12 – Вміст поживних речовин у вівсяних пластівцях та родзинках

Поживні речовини	Норма поживних речовин у суміші, %	Вміст поживних речовин у сировині, %	
		вівсяні пластівці	родзинки
Білки	$\geq 9$	12,3	2,9
Жири	$\leq 5,5$	6,2	0,6
Вуглеводи	$\geq 60$	61,8	66,0
Калорійність 1 кг сировини, ккал		3520	2640

Складемо обмеження для задачі. Загальна маса вівсяних пластівців та родзинок у суміші (упаковці) має становити:

$$x_1 + x_2 = 0,45.$$

Вміст вівсяних пластівців у суміші масою 0,45 кг не може бути більшим за 90 % та меншим ніж 80 %, відповідно, ці обмеження сформуємо у вигляді нерівності:

$$x_1 \leq 0,45 \cdot \frac{90}{100} = 0,405;$$

$$x_1 \geq 0,45 \cdot \frac{70}{100} = 0,315.$$

Суміш має містити не менше 9 % білків:

$$\frac{12,3}{100}x_1 + \frac{2,9}{100}x_2 \geq \frac{9}{100}(x_1 + x_2),$$

звідки

$$0,033x_1 - 0,061x_2 \geq 0.$$

Суміш має містити не більше 5,5 % жирів:

$$\frac{6,2}{100}x_1 + \frac{0,6}{100}x_2 \leq \frac{5,5}{100}(x_1 + x_2),$$

звідки

$$0,007x_1 - 0,049x_2 \leq 0.$$

Суміш має містити не менше 60 % вуглеводів:

$$\frac{61,8}{100}x_1 + \frac{66}{100}x_2 \geq \frac{60}{100}(x_1 + x_2),$$

звідки

$$0,018x_1 - 0,06x_2 \geq 0.$$

Отже, обмеження матимуть вигляд:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = 0,45; & (1) \\ x_1 \leq 0,405; & (2) \\ x_1 \geq 0,315; & (3) \\ 0,033x_1 - 0,061x_2 \geq 0; & (4) \\ 0,007x_1 - 0,049x_2 \leq 0; & (5) \\ 0,018x_1 - 0,06x_2 \geq 0; & (6) \\ x_2 > 0. & (7) \end{cases}$$

Для розв'язування ЗЛП графічним методом побудуємо прямі лінії, рівняння яких дістанемо, замінивши знаки нерівності в обмеженнях (2)–(7) на знаки рівності, та визначимо півплощини, що відповідають кожному обмеженню задачі (рис. 4.17).

Необхідно зауважити, що оскільки обмеження (1) є рівністю, відповідно, точка, в якій цільова функція досягає екстремального значення, лежатиме на прямій  $x_1 + x_2 = 0,45$ . Ураховуючи інші обмеження, точка, в якій цільова функція досягає екстремального значення, лежатиме на відрізьку  $AB$  прямої  $x_1 + x_2 = 0,45$ .

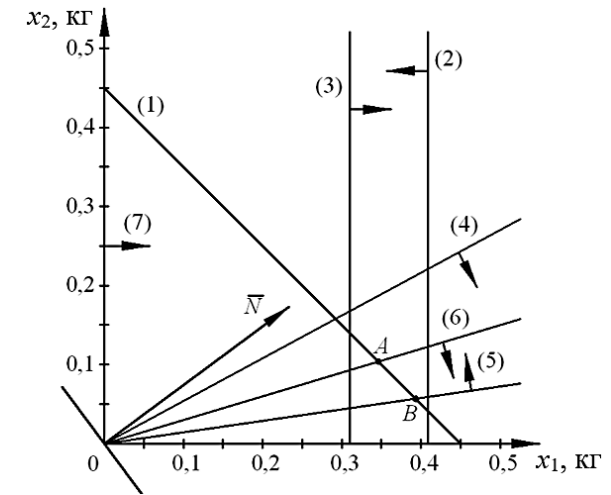


Рисунок 4.17 – Графічна інтерпретація ЗЛП

Будуємо вектор  $\bar{N} = (3520; 2640)$ , що задає напрямок зростання значень цільової функції задачі. Після цього будуємо пряму, що перпендикулярна до вектора  $\bar{N}$ . Рухаючи пряму  $3520x_1 + 2640x_2 = const$  в напрямку вектора  $\bar{N}$ , визначаємо точку на прямій  $x_1 + x_2 = 0,45$  (перша спільна точка графіка цільової функції та прямої  $x_1 + x_2 = 0,45$  на відрізьку  $AB$ ), де цільова функція досягає екстремального значення. У цьому випадку – це точка  $A$ . Визначимо координати точки  $A$ , в якій цільова функція набуває мінімального значення. У цій точці перетинаються прямі (1) та (6):

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = 0,45; \\ 0,018x_1 - 0,06x_2 \geq 0. \end{cases}$$

Із системи рівнянь визначимо координати точки  $A (0,346; 0,104)$ . Екстремальне значення цільової функції в точці  $A$ :

$$z = 3520x_1 + 2640x_2 = 3520 \cdot 0,346 + 2640 \cdot 0,104 = 1492 \text{ ккал.}$$

Отже, мінімальна калорійність суміші вівсяних пластівців з родзинками масою нетто 450 г становитиме 1492 ккал, тобто 671,4 ккал/100 г продукту. Для забезпечення необхідного вмісту поживних речовин у суміші масою нетто 450 г та мінімальної її калорійності маса вівсяних пластівців у суміші має становити 346 г, а маса родзинок – 104 г.

Приклад розв'язування цієї задачі в системі комп'ютерної алгебри Mathcad14 подано на **рис. 4.18**.

Маса та вміст поживних речовин у суміші:

- маса білків:

$$B = \frac{12,3}{100} x_1 + \frac{2,9}{100} x_2 = \frac{12,3 \cdot 346}{100} + \frac{2,9 \cdot 104}{100} = 45,6 \text{ г};$$

- вміст білків:

100% – 450 г (маса нетто суміші);

$$a_b\% - B = 45,6 \text{ г};$$

$$a_b = \frac{100B}{450} = \frac{100 \cdot 45,6}{450} = 10,1\%;$$

- маса жиру:

$$Ж = \frac{6,2}{100} x_1 + \frac{0,6}{100} x_2 = \frac{6,2 \cdot 346}{100} + \frac{0,6 \cdot 104}{100} = 22,1 \text{ г};$$

- вміст жирів:

100% – 450 г (маса нетто суміші);

$$a_{ж}\% - Ж = 22,1 \text{ г};$$

$$a_{ж} = \frac{100Ж}{450} = \frac{100 \cdot 22,1}{450} = 4,9\%;$$

- маса вуглеводів:

$$B = \frac{61,8}{100} x_1 + \frac{66}{100} x_2 = \frac{61,8 \cdot 346}{100} + \frac{66 \cdot 104}{100} = 282,5 \text{ г};$$

- вміст вуглеводів будемо визначати з пропорції:

100% – 450 г (маса нетто суміші);

$$a_v - B = 282,5 \text{ г};$$

$$a_v = \frac{100B}{450} = \frac{100 \cdot 282,5}{450} = 62,8\%.$$

Отже, вміст білків, жирів та вуглеводів у суміші вівсяних пластівців та родзинок відповідає заданим нормам поживних речовин.

ORIGIN := 1

$z(x_1, x_2) := 3520 \cdot x_1 + 2640 \cdot x_2$  цільова функція

$x_1 := 1 \quad x_2 := 1$  початкові наближення

Given початок блоку розв'язування задачі

$$x_1 + x_2 = 0.45$$

$$x_1 \leq 0.405$$

$$x_1 \geq 0.315$$

$$0.033 \cdot x_1 - 0.061 \cdot x_2 \geq 0$$

$$0.007 \cdot x_1 - 0.049 \cdot x_2 \leq 0$$

$$0.018 \cdot x_1 - 0.06 \cdot x_2 \geq 0$$

$R := \text{Minimize}(z, x_1, x_2)$  пошук мінімуму цільової функції

$$R = \begin{pmatrix} 0.346 \\ 0.104 \end{pmatrix} \text{ розв'язок задачі}$$

$$z(0.346, 0.104) = 1.492 \times 10^3$$

Рисунок 4.18 – Розв'язування прикладу 4.9 засобами Mathcad14

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 4.13.** Технологічна лінія виробляє цукрове печиво двох видів. Питоме споживання електроенергії під час виробництва цукрового печива першого виду  $q_1 = 0,6$  кВт/кг, печива другого виду –  $q_2 = 0,5$  кВт/кг. Основні рецептурні інгредієнти (борошно вищого гатунку, цукор-пісок, маргарин, інвертний сироп) для виробництва двох видів цукрового печива однакові і їх запаси на складі обмежені. Рецептура печива (основні інгредієнти) та добові запаси основних рецептурних інгредієнтів на складі подані в **таблиці 4.13** Решта рецептурних інгредієнтів на складі є в достатній кількості. Добове планове завдання передбачає виробництво не менше як 180 кг цукрового печива кожного виду. Термін придатності 40% маргарину від його запасів на складі підходить до закінчення, відповідно, цей маргарин необхідно обов'язково використати. Необхідно визначити, за якого плану випуску цукрового печива двох видів споживання електроенергії технологічним обладнанням буде мінімальним і максимальним. Задачу необхідно розв'язати графічним методом. Також необхідно визначити витрату рецептурних інгредієнтів на визначений план випуску.

Таблиця 4.13 – Маса рецептурних інгредієнтів, що необхідна для виробництва 10 кг цукрового печива, та їх запаси на складі

Інгредієнти	Маса інгредієнтів, що необхідна для виробництва 10 кг печива, кг		Запаси інгредієнтів на складі, кг
	першого виду	другого виду	
Борошно в/г	5,8	4,1	350
Цукор-пісок	2,7	3,8	190
Маргарин	0,8	0,9	90
Інвертний сироп	0,3	0,3	20

**Завдання 4.14.** Розробити рецептуру м'ясних консервів із яловичини та свинини, які б мали мінімальну вартість. М'ясні консерви мають відповідати вимогам: містити не менше 18 % білків та не більше 24 % жирів. Вміст поживних речовин у консервованій яловичині та свинині представлено в **таблиці 4.14**. Маса нетто м'ясних консервів становить 0,5 кг (маса консервованого м'яса). Маса консервованої свинини в консервах має бути не менше 0,06 кг. Вартість 1 кг консервованої яловичини – 220 грн, а вартість 1 кг консервованої свинини – 240 грн. Решту рецептурних компонентів під час розрахунку не враховувати. Також необхідно визначити вміст та масу поживних речовин (білки, жири) у м'ясних консервах.

Таблиця 4.14 – Вміст поживних речовин у консервованому м'ясі та м'ясних консервах

Поживні речовини	Норма поживних речовин у консервах, %	Вміст поживних речовин у консервованому м'ясі, %	
		яловичина	свинина
Білки	$\geq 18$	18,6	14,9
Жири	$\leq 24$	16,0	32,2

## 4.5 СИМПЛЕКС-МЕТОД

Універсальним методом розв'язування ЗЛП є симплекс-метод. **Симплекс-метод** – це поетапна обчислювальна процедура, в основу якої покладено принцип послідовного поліпшення значень цільової функції внаслідок цілеспрямованого переходу від одного опорного плану ЗЛП до другого. Цей метод застосовується, якщо змінних більше двох. Симплекс-метод адаптований до розв'язування ЗЛП у канонічній формі. **Етапи зведення ЗЛП до канонічної форми** [103]:

- якщо  $i$ -те обмеження-рівність в правій частині має значення  $b_i < 0$ , то необхідно помножити  $i$ -те обмеження на  $(-1)$ , відповідно, в правій частині утвориться додатне значення;
- якщо  $i$ -те обмеження має вигляд нерівності:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i, \quad (4.30)$$

то, ввівши допоміжну (балансову) змінну  $x_{n+1} \geq 0$ , обмеження-нерівність (4.30) можна подати як рівність:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n + x_{n+1} = b_i; \quad (4.31)$$

- якщо  $i$ -те обмеження має вигляд нерівності:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i, \quad (4.32)$$

то, ввівши допоміжну (балансову) змінну  $x_{n+1} \geq 0$ , обмеження-нерівність (4.32) можна представити у вигляді рівності:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n - x_{n+1} = b_i. \quad (4.33)$$

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:

$$\max(z) = \max(c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n) \quad (4.34)$$

та

$$\min(-z) = \min(-c_1x_1 - c_2x_2 - \dots - c_nx_n) \quad (4.35)$$

мають однакові оптимальні розв'язки.

### Алгоритм розв'язування ЗЛП симплекс-методом [103]:

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, то початковий опорний план – це вектор  $B$ , якщо ж немає необхідної кількості одиничних незалежних векторів, то 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. Перевіряння опорного плану на оптимальність проходить за допомогою оцінок  $\Delta_j$ . Опорний план  $X^*=(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  ЗЛП є оптимальним, якщо для всіх  $j$  (де  $j = 1, n$ ) виконується умова:

$$\Delta_j \geq 0 \text{ (для задачі на max),} \quad (4.36)$$

або

$$\Delta_j \leq 0 \text{ (для задачі на min).} \quad (4.37)$$

Значення оцінок визначаються за виразом:

$$\Delta_j = z_j - C_j = \sum_{i=1}^m C_{баз.i} a_{ij} - C_j. \quad (4.38)$$

Обчислені оцінки записують в окремий рядок таблиці. Якщо всі  $\Delta_j$  задовольняють умову оптимальності, то визначений опорний план є оптимальним. Якщо не всі  $\Delta_j$  задовольняють умову оптимальності, то 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 іншої. Змінна, яка включається до нового базису, відповідає тій оцінці  $\Delta_j$ , що не задовольняє умову оптимальності. Якщо таких оцінок декілька, поміж 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  $\theta$  вибирають найменше значення, що вказує на змінну, яка виводиться із базису (**рядок  $r$** , в якому  $\theta$  має найменше значення, називається **направляючим**). На перетині

направляючого рядка та стовпчика розташовано **розв'язуючий елемент**. За допомогою цього елемента та методу Жордано-Гаусса обчислюють нову симплекс-таблицю.

Якщо на будь-якому етапі розрахунків виникає невизначеність з вибором направляючого рядка, бо виявляється кілька однакових мінімальних відношень  $\theta_i = b_i/a_{ik}$ , то чинять так: знаходять відношення усіх елементів наступного стовпчика, що не входить в базис, до елементів направляючого стовпчика, окрім тих, що рівні нулю; серед відношень вибирають найменше; той рядок, якому відповідає найменше відношення, буде направляючим. Якщо внаслідок обчислень знову будуть однакові мінімальні відношення, то знаходять відношення елементів наступного стовпчика з елементами направляючого стовпчика та вибирають з них найменше. Отже, проводять перетворення, доки направляючий рядок не буде визначено однозначно.

5. Повторюють всі дії, починаючи із пункту 3 алгоритму розв'язування ЗЛП симплекс-методом.

#### Приклад 4.10 (джерело інформації: [103])

Для виробництва йогурту використовуються рецептурні інгредієнти: молоко незбиране, молоко відновлене знежирене, барвник, стабілізатор, підсолоджувач, ароматизатор та закваска. Маса деяких рецептурних інгредієнтів, що необхідні для виготовлення 1000 кг йогурту, подані в **таблиці 4.15**. Необхідно визначити, за якого співвідношення молока незбираного та молока відновленого знежиреного в рецептурі буде досягнута мінімальна жирність йогурту. Вміст поживних речовин в інгредієнтах подано в **таблиці 4.16**. Вміст білків в йогурті не має перевищувати 2,9%, а вміст вуглеводів має бути меншим ніж 4,7%. Вміст молока відновленого знежиреного в йогурті не може перевищувати 25% від загальної маси молока незбираного та молока відновленого знежиреного.

Визначимо загальну масу в рецептурі молока незбираного та молока відновленого знежиреного:

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

Максимальна можлива маса молока відновленого знежиреного:

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

Таблиця 4.15 – Маса рецептурних інгредієнтів, що необхідна для виробництва 1000 кг йогурту

Інгредієнти	Маса інгредієнтів, 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

Таблиця 4.16 – Вміст поживних речовин в інгредієнтах для йогурту

Інгредієнти	Вміст поживних речовин в інгредієнтах, %		
	білки	жири	вуглеводи
Молоко незбиране	2,9	3,2	4,7
Молоко відновлене знежирене	2,8	0,05	4,5

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

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

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

Складемо обмеження. Йогурт має містити не більше 2,9% білків:

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

звідки

$$-0,1x_2 \leq 0.$$

Йогурт має містити не більше 4,7% вуглеводів:

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

звідки

$$-0,2x_2 \leq 0.$$

Загальна маса молока незбираного та молока відновленого знежиреного в йогурті:

$$x_1 + x_2 = 994,35 \text{ кг.}$$

Маса молока відновленого знежиреного в йогурті:

$$x_2 \leq 248,588.$$

Отже, обмеження задачі:

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

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

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

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

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

Сформуємо задачу в векторній формі:

$$A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_4x_4 + A_5x_5 = B,$$

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

Складемо першу симплексну **таблицю 4.17**. Для визначення оцінок  $\Delta_j$  необхідно скористатися формулою (4.38):

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

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

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

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

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

Поміж 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. Отже, переходимо до другого опорного плану.

Для цього поміж усіх  $\Delta_j$  вибираємо те, яке має максимальне значення. У цьому випадку це значення  $\Delta_2 = 0,0315$ . Відповідно, вектор  $A_2$  необхідно ввести в базис. Визначимо, на місце якого вектора базису необхідно ввести вектор  $A_2$ . Для цього визначимо розв'язуючий елемент, порівнявши значення  $\theta_i$ , які обчислимо 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 4.18** та визначимо всі необхідні елементи згідно нового базису. Для цього кожен елемент попереднього розв'язуючого рядка необхідно поділити на розв'язуючий елемент (1) (**таблиця 4.19**). Решту рядків нової симплексної **таблиці 4.18** знаходимо як різницю попередніх рядків **таблиці 4.17** та нового розв'язуючого рядка, помноженого на коефіцієнт попереднього розв'язуючого стовпчика. Продемонструємо ці перетворення на прикладі рядка  $A_3$  (**таблиця 4.20**).

Таблиця 4.17 – Симплексна таблиця

i	Базис	C <sub>баз.</sub>	Опорний план B	0,032					0,0005					0		θ	
				A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>			
1	A <sub>3</sub>	0	0	0	-0,1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–
2	A <sub>3</sub>	0	0	0	-0,2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	–
3	A <sub>5</sub>	0,032	994,35	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	994,35
4	a <sub>5</sub>	0	248,588	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	248,588
m+1		4	31,819	0	0,0315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Джерело інформації: [103]

Таблиця 4.18 – Симплексна таблиця

i	Базис	C <sub>баз.</sub>	Опорний план B	0,032					0,0005					0		θ	
				A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>			
1	A <sub>3</sub>	0	24,8588	0	0	i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	A <sub>3</sub>	0	49,7176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
3	A <sub>5</sub>	0,032	745,762	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
4	A <sub>7</sub>	0,0005	248,588	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
m+1	Δ <sub>2</sub>		23,988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,0315

Джерело інформації: [103]

Таблиця 4.19 – Перетворення попереднього рядка у новий (джерело інформації: [103])

Попередній рядок $A_5$ (таблиця 4.7)	248,588	0	1	0	0	1
Попередній рядок / 1	248,588/1	0/1	1/1	0/1	0/1	1/1
Новий рядок $A_2$ (таблиця 4.8)	248,588	0	1	0	0	1

Джерело інформації: [103]

Таблиця 4.20 – Перетворення попереднього рядка  $A_3$  у новий рядок  $A_3$  (джерело інформації: [103])

Попередній рядок $A_3$ (таблиця 4.7)	0	-0,1	1	0	0	0
$(-0,1) \times$ новий рядок	$-0,1 \cdot 248,588 = -24,8588$	$-0,1 \cdot 1 = -0,1$	$-0,1 \cdot 0 = 0$	$-0,1 \cdot 0 = 0$	$-0,1 \cdot 0 = 0$	$-0,1 \cdot 1 = -0,1$
Новий рядок $A_3$ (таблиця 4.8)	$0 - (-24,8588) = 24,8588$	$-0,1 - (-0,1) = 0$	$1 - 0 = 1$	$0 - 0 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 - (-0,1) = 0,1$

Джерело інформації: [103]

Обчислимо оцінки  $\Delta_j$  у новій симплексній таблиці 4.18:

$$\Delta_1 = (0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0,032 \cdot 1 + 0,0005 \cdot 0) - 0,032 = 0;$$

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

$$\Delta_3 = (0 \cdot 1 + 0 \cdot 0 + 0,032 \cdot 0 + 0,0005 \cdot 0) - 0 = 0;$$

$$\Delta_4 = (0 \cdot 0 + 0 \cdot 1 + 0,032 \cdot 0 + 0,0005 \cdot 0) - 0 = 0;$$

$$\Delta_5 = (0 \cdot 0,1 + 0 \cdot 0,2 + 0,032 \cdot (-1) + 0,0005 \cdot 1) - 0 = -0,0315.$$

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

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

Приклад розв'язування цієї задачі в системі комп'ютерної алгебри Mathcad14 подано на *рис. 4.19*.

Мінімальна маса жиру в 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 жиру в 1000 кг йогурту:

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

Обчислимо відсотковий вміст жиру в йогурті:

$$1000 \text{ кг (йогурт)} - 100 \%;$$

$$Ж = 23,9886 \text{ кг (маса жиру в йогурті)} - a_{жс} \%;$$

$$a_{жс} = \frac{100Ж}{1000} = \frac{100 \cdot 23,9886}{1000} = 2,4 \%$$

$\text{ORIGIN} := 1$

$z(x_1, x_2) := 0.032 \cdot x_1 + 0.0005 \cdot x_2$  цільова функція

$x_1 := 1 \quad x_2 := 1$

початкові наближення

Given

початок блоку розв'язування задачі

$-0.1 \cdot x_2 \leq 0$

$-0.2 \cdot x_2 \leq 0$

$x_1 + x_2 = 994.35$

$x_2 \leq 248.588$

$x_1 \geq 0$

обмеження задачі

$x_2 \geq 0$

$R_{\text{min}} := \text{Minimize}(z, x_1, x_2)$

пошук мінімуму цільової функції

$R = \begin{pmatrix} 745.762 \\ 248.588 \end{pmatrix}$

розв'язок задачі

$z(745.762, 248.588) = 23.989$

Рисунок 4.19 – Розв'язування прикладу 4.10 засобами Mathcad14

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Завдання 4.15.** На підприємстві встановлена технологічна лінія з виробництва кетчупів трьох видів. Основні рецептурні інгредієнти (томатна паста, крохмаль, цукор-пісок, сіль) для виробництва трьох видів кетчупів однакові та їх запаси на складі обмежені. Рецептурні інгредієнти, їх маса, необхідна для виготовлення 100 кг кетчупу кожного виду, та їх добові запаси на підприємстві представлені в **таблиці 4.21**. Решта інгредієнтів на складі є в достатній кількості. Відомо також, що вартість 1 кг кетчупу першого виду – 125 грн, кетчупу другого виду – 112 грн та кетчупу третього виду – 132 грн.

Необхідно визначити, скільки кілограмів кетчупу першого виду  $x_1$ , другого виду  $x_2$  та третього виду  $x_3$  можна виготовити із запасів інгредієнтів на складі за умови забезпечення максимального об'єму випуску в грошовому еквіваленті.

**Завдання 4.16.** Необхідно розробити рецептуру виноградно-яблучно-апельсинового соку, в якому вміст сухих речовин буде максимальним. Виноградно-яблучно-апельсиновий сік має містити не більше ніж 30 % яблучного соку. В 100 мл виноградно-яблучно-апельсинового соку кількість білків не має перевищувати 0,4 г, а кількість вуглеводів має бути меншою за 14,2 г. Кількість білків, вуглеводів та сухих речовин у виноградному, яблучному та апельсиновому соку представлена в **таблиці 4.22**.

Таблиця 4.21 – Маса рецептурних інгредієнтів, що необхідна для виробництва 100 кг кетчупу, та їх запаси на складі

Інгредієнти	Маса інгредієнтів, що необхідна на 100 кг кетчупу, кг			Запаси інгредієнтів на складі, кг
	першого виду	другого виду	третього виду	
Томатна паста 36 %	25	21	29	1000
Крохмаль	1,8	1,6	2,0	450
Цукор-пісок	18	13	15	550
Сіль	2,2	2,5	2,5	150

Таблиця 4.22 – Маса білків, вуглеводів та сухих речовин в 100 мл соку

Сік	Маса поживних та сухих речовин в 100 мл соку, г		
	білки	вуглеводи	сухі речовини
Апельсиновий	0,40	14,2	15,5
Яблучний	0,50	13,0	11,9
Виноградний	0,26	15,0	18,1

## ДОДАТКИ



### Додаток А

Значення  $\chi_m^2$ -критерію залежно від  $f$  та  $\alpha$

f	Рівень значущості $\alpha$								
	0,99	0,98	0,95	0,9	0,8	0,1	0,05	0,02	0,01
1	0,00	0,001	0,004	0,01	0,06	2,71	3,84	5,41	6,64
2	0,02	0,04	0,10	0,21	0,44	4,60	5,99	7,82	9,21
3	0,11	0,18	0,35	0,58	1,01	6,25	7,82	9,84	11,34
4	0,29	0,43	0,71	1,06	1,64	7,78	9,49	11,67	13,28
5	0,55	0,75	1,14	1,61	2,34	9,24	11,07	13,39	15,09
6	0,87	1,13	1,63	2,20	3,07	10,64	12,59	15,03	16,81
7	1,23	1,56	2,17	2,83	3,82	12,02	14,07	16,68	18,48
8	1,64	2,03	2,73	3,49	4,59	13,36	15,51	18,17	20,10
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	14,68	16,92	19,68	21,70
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	15,99	18,31	21,20	23,20
11	3,05	3,61	4,58	5,58	6,99	17,28	19,68	22,60	24,70
12	3,57	4,18	5,23	6,30	7,81	18,55	21,00	24,10	26,20
13	4,11	4,76	5,89	7,04	8,63	19,81	22,40	25,50	27,70
14	4,66	5,37	6,57	7,79	9,47	21,10	23,70	26,90	29,10
15	5,23	5,98	7,26	8,55	10,31	22,30	25,00	28,30	30,60
16	5,81	6,61	7,96	9,31	11,15	23,50	26,30	29,60	32,00
17	6,41	7,26	8,67	10,08	12,00	24,80	27,60	31,00	33,40
18	7,02	7,91	9,39	10,86	12,86	26,00	28,90	32,30	34,80
19	7,63	8,57	10,11	11,65	13,72	27,20	30,10	33,70	36,20
20	8,26	9,24	10,85	12,44	14,58	28,40	31,40	35,00	37,60
21	8,9	9,92	11,59	13,24	15,44	29,60	32,70	36,30	38,90
22	9,54	10,60	12,34	14,04	16,31	30,80	33,90	37,70	40,30
23	10,2	11,29	13,09	14,85	17,19	32,00	35,20	39,00	41,60
24	10,86	11,99	13,85	15,66	18,06	33,20	36,40	40,80	43,00
25	11,52	12,70	14,61	16,47	18,94	34,40	37,70	41,70	44,30
26	12,20	13,41	15,38	17,29	19,82	35,60	38,90	42,90	45,60
27	12,88	14,12	16,15	18,11	20,70	36,70	40,10	44,10	47,00
28	13,56	14,85	16,93	18,94	21,60	37,90	41,30	45,40	48,30
29	14,26	15,57	17,71	19,77	22,50	39,10	42,60	46,70	49,60
30	14,95	16,31	18,49	20,60	23,40	40,30	43,80	48,00	50,90

### Додаток Б

Значення критерію Стьюдента  $t_m$  залежно від  $f$  та  $\alpha$

Число ступенів вільності $f$	Рівень значущості $\alpha$					
	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001
1	6,32	12,7	31,82	63,70	318,30	637,00
2	2,92	4,30	6,97	9,92	22,33	31,60
3	2,35	3,18	4,54	5,84	10,22	12,90
4	2,13	2,78	3,75	4,60	7,17	8,61
5	2,01	2,57	3,37	4,03	5,89	6,36
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,21	5,96
7	1,89	2,38	3,00	3,50	4,79	5,40
8	1,86	2,31	2,90	3,36	4,50	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,30	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,14	4,59
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,03	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,05	3,93	4,32
13	1,77	2,16	2,65	3,01	3,85	4,22
14	1,78	2,14	2,62	2,98	3,79	4,14
15	1,75	2,13	2,60	2,95	3,73	4,07
16	1,75	2,12	2,58	2,92	3,69	4,01
17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,65	3,96
18	1,73	2,10	2,55	2,88	3,61	3,92
19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,58	3,88
20	1,73	2,09	2,53	2,85	3,55	3,85
21	1,72	2,08	2,52	2,83	3,53	3,82
22	1,72	2,07	2,51	2,82	3,51	3,79
23	1,71	2,07	2,50	2,81	3,49	3,77
24	1,71	2,06	2,49	2,80	3,47	3,74
25	1,71	2,06	2,49	2,79	3,45	3,72
26	1,71	2,06	2,48	2,78	3,44	3,71
27	1,71	2,05	2,47	2,77	3,42	3,69
28	1,70	2,05	2,46	2,76	3,40	3,66
29	1,70	2,05	2,46	2,76	3,40	3,66
30	1,70	2,04	2,46	2,75	3,39	3,65
40	1,68	2,02	2,42	2,70	3,31	3,55
60	1,67	2,00	2,39	2,66	3,23	3,46
120	1,66	1,93	2,36	2,62	3,17	3,37

## Додаток В

Значення двостороннього критерію Граббса  $G_m$  залежно від  $\alpha$

Кількість дослідних даних $n$	Рівень значущості $\alpha$			
	0,1	0,05	0,02	0,01
3	1,153	1,154	1,155	1,155
4	1,462	1,481	1,492	1,496
5	1,671	1,715	1,749	1,764
6	1,822	1,887	1,944	1,973
7	1,938	2,020	2,097	2,139
8	2,032	2,127	2,221	2,274
9	2,110	2,215	2,323	2,386
10	2,176	2,290	2,410	2,482
11	2,234	2,355	2,484	2,564
12	2,285	2,412	2,550	2,636
13	2,331	2,462	2,607	2,699
14	2,372	2,507	2,658	2,755
15	2,409	2,549	2,705	2,806
16	2,443	2,586	2,747	2,852
17	2,475	2,620	2,786	2,894
18	2,504	2,652	2,821	2,932
19	2,531	2,681	2,853	2,968
20	2,556	2,708	2,884	3,001
21	2,580	2,734	2,912	3,031
22	2,602	2,758	2,939	3,060
23	2,623	2,781	2,964	3,087
24	2,643	2,801	2,986	3,111
25	2,662	2,822	3,009	3,135
26	2,680	2,841	3,029	3,157
27	2,697	2,859	3,050	3,179
28	2,713	2,876	3,067	3,198
29	2,729	2,893	3,085	3,217
30	2,744	2,908	3,103	3,236
31	2,758	2,923	3,119	3,253
32	2,772	2,938	3,135	3,269
33	2,785	2,952	3,149	3,285
34	2,798	2,965	3,164	3,300
35	2,810	2,978	3,178	3,315
36	2,822	2,990	3,191	3,329
37	2,833	3,002	3,204	3,343
38	2,845	3,014	3,216	3,355
39	2,855	3,025	3,228	3,368
40	2,865	3,036	3,239	3,380
41	2,875	3,046	3,250	3,392
42	2,885	3,056	3,261	3,403

## Додаток Г

Значення критерію Фішера  $F_m$  залежно від  $f_1, f_2$  та  $\alpha = 0,05$

$f_2$	$f_1$									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	$\infty$
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	238,9	243,9	249,0	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,91
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,90	2,79
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,61	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,42	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,29	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,55	2,38	2,19	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,15	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,48	2,31	2,11	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,72	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,36	2,18	1,98	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,16	1,96	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,32	2,15	1,95	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,30	2,13	1,93	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,29	2,12	1,91	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,28	2,10	1,90	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
35	4,12	3,26	2,87	2,64	2,48	2,37	2,22	2,04	1,83	1,57
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,79	1,53
45	4,06	3,21	2,81	2,58	2,42	2,31	2,15	1,97	1,76	1,48
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,13	1,95	1,74	1,44
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,92	1,70	1,39
$\infty$	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,52	1,00

### Додаток Д

Значення критерію Тьюкі  $Q_m$  залежно від  $f$ ,  $z$  та  $\alpha = 0,05$

$f$	$z$									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	17,97	26,70	32,82	37,20	40,50	43,10	45,40	47,30	49,10	
2	6,085	8,331	9,798	10,88	11,74	12,44	13,03	13,54	13,99	
3	4,501	5,910	6,825	7,502	8,037	8,478	8,853	9,177	9,462	
4	3,987	5,040	5,750	6,287	6,707	7,053	7,347	7,608	7,826	
5	3,635	4,602	5,218	5,673	6,033	6,330	6,582	6,702	6,995	
6	3,461	4,339	4,896	5,305	5,628	5,985	6,122	6,319	6,493	
7	3,344	4,165	4,701	5,060	5,359	5,606	5,815	5,998	6,158	
8	3,261	4,041	4,529	4,886	5,167	5,399	5,597	5,767	5,918	
9	3,199	3,949	4,415	4,756	5,024	5,244	5,432	5,595	5,739	
10	3,151	3,877	4,387	4,654	4,918	5,184	5,305	5,461	5,599	
11	3,113	3,820	4,260	4,574	4,823	5,028	5,202	5,353	5,487	
12	3,088	3,770	4,199	4,508	4,751	4,950	5,119	5,265	5,395	
13	3,055	3,735	4,151	4,453	4,690	4,885	5,049	5,192	5,318	
14	3,033	3,702	4,111	4,407	4,639	4,829	4,990	5,131	5,254	
15	3,014	3,674	4,076	4,367	4,595	4,782	4,940	5,077	5,198	
16	2,998	3,649	4,046	4,333	4,557	4,741	4,897	5,031	5,150	
17	2,984	3,628	4,020	4,303	4,524	4,705	4,858	4,991	5,106	
18	2,971	3,609	3,997	4,277	4,495	4,673	4,884	4,956	5,071	
19	2,960	3,593	3,977	4,253	4,469	4,645	4,794	4,924	5,038	
20	2,950	3,578	3,958	4,232	4,445	4,620	4,768	4,896	5,008	

### Додаток Е

Значення критерію Кохрена  $G_m$  залежно від  $f_u$ ,  $n$  та  $\alpha = 0,05$

$n$	Число ступенів вільності $f_u$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0,999	0,975	0,939	0,906	0,877	0,853	0,833	0,816
3	0,967	0,871	0,798	0,746	0,707	0,677	0,653	0,633
4	0,907	0,768	0,684	0,629	0,590	0,560	0,637	0,518
5	0,841	0,684	0,598	0,544	0,507	0,478	0,456	0,439
6	0,781	0,616	0,532	0,480	0,455	0,418	0,398	0,382
7	0,727	0,561	0,480	0,431	0,397	0,373	0,354	0,338
8	0,680	0,516	0,438	0,391	0,360	0,336	0,319	0,304
9	0,639	0,478	0,403	0,358	0,329	0,307	0,290	0,277
10	0,602	0,445	0,373	0,331	0,303	0,282	0,267	0,254
12	0,541	0,392	0,326	0,288	0,262	0,244	0,230	0,219
15	0,471	0,335	0,276	0,242	0,260	0,203	0,191	0,182
20	0,389	0,271	0,221	0,192	0,174	0,160	0,150	0,142

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ



1. Хвостівський М. О. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія». Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2017. 42 с.
2. Ковтун А. В. Удосконалення технології формованих картопляних чипсів підвищеної харчової цінності : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01. Київ : Національний університет харчових технологій, 2020. 22 с.
3. Синиця О. В. Розроблення м'ясних продуктів з використанням низькотемпературних режимів оброблення : дис. ... д-ра філософ. : 181 – Харчові технології. Одеса : Одеська національна академія харчових технологій, 2021. 182 с.
4. Самілик М., Демидова Є. Використання нетрадиційної сировини у технології виробництва йогурту. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2022. Т. 5. № 2. С. 281–291. DOI: <https://doi.org/10.31866/2616-7468.5.2.2022.270113>
5. Рибаченко М., Березова Г., Польовик В., Корецька І. Якість овочевих супів-пюре з використанням білковомісної сировини. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2022. Т. 5. № 2. С. 303–315. DOI: <https://doi.org/10.31866/2616-7468.5.2.2022.270120>
6. Павлюченко О. С., Дейниченко Л. Г., Кравчук А. В., Матіящук О. В., Силка І. М. Теоретичне і практичне обґрунтування рецептурного складу мафінів яблучних спеціального призначення. *Наукові праці НУХТ*. 2022. Т. 28. № 1. С. 134–144. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2022-28-1-13>
7. Камінська С. В., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Мартиненко Т. А. Використання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів у харчових технологіях. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27. № 4. С. 129–139. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-4-14>
8. Дорохович В. В., Долюк М. Ю., Лукаш К. Р. Визначення можливості та доцільності застосування мальтитола і борошна амаранту в технології цукрового печива. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27. № 2. С. 111–120. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-2-13>
9. Дробот В. І., Шевченко А. О., Літвинчук С. І. Вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27. № 5. С. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-5-15>
10. Дричик М. Ю., Чорна А. І. Споживні властивості макаронних виробів з додаванням порошку лушпиння цибулі. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26. № 6. С. 207–216. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2020-26-6-23>
11. Сімахіна Г. О., Камінська С. В. Стан і перспективи розвитку вітчизняного ринку заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26. № 3. С. 234–242. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2020-26-3-26>
12. Антонюк В. С., Полонський Л. Г., Аверченков В. І., Малахов Ю. А. Методологія наукових досліджень : навч. посіб. Харків : НТУУ «КПІ», 2015. 276 с.
13. Бірта Г. О., Бургу Ю. Г. Методологія і організація наукових досліджень : навч. посіб. Київ : «Центр учбової літератури», 2014. 142 с.
14. Попова Н. В., Мисюра Т. Г. Дослідження якості та оптимізація компонентного складу збагаченої начинки сирка в білкової глазури. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27. № 3. С. 153–162. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-3-18>
15. Кравченко М. Ф., Кублінська І. А. Обґрунтування технології соусу з композиційною сумішшю грибних порошоків. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Т. 25. № 1. С. 189–198. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2019-25-1-19>
16. Кухтіна І. Новий сезон на ринку фруктів та ягід : тенденції та перспективи. *Агробізнес сьогодні*. 2020. № 11. С. 54–57.
17. Галат Л. М. Експортний потенціал та проблеми розвитку галузі ягідництва України. *Агросвіт*. 2021. № 1–2. С. 46–55.
18. Ismail M. M. Which is better for humans, animal milk or vegetable milk? *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 2015. Vol. 2. № 5. P. 155–156. DOI: <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2015.02.00067>
19. Alozie Y. E., Udofia U. S. Nutritional and sensory properties of almond (*Prunus amygdalu* Var. *Dulcis*) seed milk. *World Journal of Dairy & Food Sciences*. 2015. № 10. P. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.5829/idosi.wjdfs.2015.10.2.9622>
20. Nti C. A., Plahar W. A., Annan N. T. Development and quality characteristics of shelf stable soy Agushie: A residual by product

- of soymilk production. *Food Science & Nutrition*. 2016. № 4. P. 315–321. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.292>
21. Sterna V., Zute S., Brunava L. Oat grain composition and its nutrition benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2016. № 8. P. 252–256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.100>
  22. Mota C., Santos M., Mauro R., Samman N., Matos A. S., Torres D., Castanheira I. Protein content and amino acids profile of pseudocereals. *Food Chemistry*. 2016. № 193. P. 55–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.043>
  23. Успенко О. В., Білько М. В., Кучеренко В. М. Оцінка якості безалкогольного вина, виготовленого шляхом дистиляції. *Наукові праці НУХТ*. 2022. Т. 28. № 5. С. 118–126. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2022-28-5-14>
  24. Впровадження системи НАССР для операторів ринку харчових продуктів : практ. посіб. / А. С. Ткаченко, Ю. О. Басова, О. О. Горячова та ін. ; за заг. ред. А. С. Ткаченко. Полтава : ПУЕТ, 2020. 137 с.
  25. Камбулова Ю. В., Кохан О. О., Олексієнко Н. В., Ворочек Д. В., Щирська О. С. Удосконалення технології органічної фруктової пастили функціонального спрямування. *Харчова промисловість*. 2021. № 30. С. 58–65. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2021-30-8>
  26. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Удосконалений спосіб отримання заморожених ягідних напівфабрикатів. *Харчова промисловість*. 2020. № 27. С. 80–87. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2020-27-11>
  27. Хомич Г. П., Наконечна Ю. Г., Галушинський Є. М. Використання борошна чуфи в технології виготовлення мафінів. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27. № 3. С. 181–191. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-3-21>
  28. Kutoš T., Golob T., Kač M., Plestenjak A. Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chemistry*. 2023. Vol. 80. № 2. P. 231–235. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00258-3](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00258-3)
  29. Соколова Л. В. Кількісне визначення біологічно активних речовин у сублімованих порошках аронії, артишоку та кавуна. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2013. Т. 1. № 55. С. 42–45.
  30. Абрамова А., Рубанка К., Писарець О. Удосконалення технології борошняних кондитерських виробів функціонального призначення для підприємств кондитерської галузі та закладів ресторанного господарства. *Продовольчі ресурси*. 2018. Т. 6. № 10. С. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-10-01>
  31. Куракін О., Бишовець Л. Використання сублімованих порошків дикорослих ягід у технології крему сирного. *Інновації та технології в сфері послуг і харчування*. 2020. № 1. С. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.24025/2708-4949.1.2020.204221>
  32. Антоненко А. В. Борошно з пророщеного зерна вівса як основа для борошняних кондитерських виробів. *Наукові праці ОНАХТ*. 2014. Т. 1. № 46. С. 149–153.
  33. Дзюбинський А., Дзюбинська О., Шегинський О. Проблеми забезпечення якості пшеничного борошна. *Товарознавчий вісник*. 2017. Т. 1. № 10. С. 23–29.
  34. Миколенко С., Гезь Я. Дослідження впливу спельтового і гарбузового борошна на зміну споживчих характеристик хліба. *Продовольчі ресурси*. 2017. Т. 5. № 9. С. 228–234.
  35. Берник І., Новгородська Н. Морозиво для оздоровчого харчування. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 19. С. 47–57. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-05>
  36. Точкова О., Мельник О., Хомічак Л., Ярмолюк М. Використання амарантової олії у дитячому харчуванні. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 19. С. 141–150. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-16>
  37. Соколова Л. В. Якісна ідентифікація біологічно активних речовин сублімованого порошку аронії. *Медична хімія*. 2013. Т. 15. № 1. С. 76–80.
  38. Соколова Л. В. Сублімований порошок аронії – перспективне джерело мінеральних речовин. *Вісник фармації*. 2013. Т. 1. № 73. С. 23–25.
  39. Матко С., Мельник Л., Ткаченко С. Розроблення технології напою підвищеної біологічної цінності зі зниженою калорійністю. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 18. С. 70–79. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-07>
  40. Овсієнко С. Амарант та продукти його переробки в хлібопеченні. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 18. С. 109–120. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-11>
  41. Миколенко С. Ю., Царук Л. Ю., Чурсінов Ю. О. Вплив продуктів переробки амаранту і чаї на якість хліба. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2019. Т. 5. № 1330. С. 145–151. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2019.05.19>
  42. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-03-04. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.

43. Дударєв І. М., Кузьмін О. В. Стратегії удосконалення майонезного соусу. *Товарознавчий вісник*. 2022. Т. 2. № 15. С. 5–21. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-16-1>
44. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання. Чинний від 2007-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 47 с.
45. Міжнародні стилі цитування та посилання в наукових роботах : методичні рекомендації / автори-укладачі : О. Боженко, Ю. Корян, М. Федорець ; редкол. : В. С. Пашкова, О. В. Воскобойнікова-Гузєва, Я. Є. Сошинська, О. М. Бруй ; Науково-технічна бібліотека імені Г. І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ; Українська бібліотечна асоціація. Київ : УБА, 2016. 117 с.
46. ДСТУ 3582-2013. Інформація та документація. Бібліографічний опис скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила. Чинний від 2013-08-22. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 15 с.
47. Морозова Л. Синтетичний харчовий барвник тартразин (Е102): безпека застосування та вплив на організм людини. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 19. С. 99–108. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-11>
48. Юдіна Т., Безрученко О. Технологічні властивості борошна круп'яних культур для виробництва безглютенових кексів. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 19. С. 176–183. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-20>
49. Новгородська Н., Берник І. Розробка технології сиркових паст з харчовими волокнами. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 18. С. 100–108. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-10>
50. Борсолук Л., Войцехівська Л., Вербицький С., Лизова В. Дослідження фізико-хімічних і технологічних властивостей рослинної сировини у складі функціональних паштетних продуктів. *Продовольчі ресурси*. 2017. Т. 5. № 9. С. 126–135.
51. Новгородська Н. В. Використання свинини з ознаками PSE та DFD у ковбасному виробництві. *Аграрна наука та харчові технології*. 2018. Т. 1. № 100. С. 116–123.
52. Новгородська Н. В. Використання рослинної клітковини у м'ясних напівфабрикатах. *Аграрна наука та харчові технології*. 2018. Т. 3. № 102. С. 159–168.
53. Баль-Прилипка Л. В., Ніколаєнко М. С., Чередніченко О. О., Даниленко С. Г., Степасюк Л. М., Назаренко М. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі та практичні підходи до вдосконалення рецептур ковбасних виробів. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 19. С. 26–37. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-03>
54. Сичевський М. П., Шпичак О. М., Коваленко О. В., Куць О. І., Бокій О. В. Тенденції та перспективи розвитку хлібопекарського виробництва в європейських країнах. *Економіка АПК*. 2020. № 7. С. 54–67. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202007054>
55. Науменко О., Овсієнко С. Використання біологічно активних речовин у хлібопеченні. *Продовольчі ресурси*. 2021. Т. 9. № 17. С. 107–118. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-11>
56. Journal Citation Reports: Quartile rankings and other metrics. *Clarivate*. URL: [https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/Journal-Citation-Reports-Quartile-rankings-and-other-metrics?language=en\\_US](https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/Journal-Citation-Reports-Quartile-rankings-and-other-metrics?language=en_US) (дата звернення: 08.03. 2023)/
57. Тверезовська Н. Т., Сидоренко В. К. Методологія педагогічного дослідження : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2013. 440 с.
58. Голінська Я. Желе із соку коріння селери. *Наукові праці*. 2017. Т. 80. № 2. С. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v80i2.322>
59. ДСТУ 4561:2006. Соуси салатні. Технічні умови. Чинний від 2007-08-02. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 19 с.
60. Каламбет С. В., Іванов С. І., Півняк Ю. В. Методологія наукових досліджень : навч. посіб. Дніпропетровськ : Вид-во Маковецький, 2015. 191 с.
61. Педченко Г. П. Статистика : навч. посіб. Мелітополь : Колор Принт, 2018. 266 с.
62. Soetens L., Hahné S., Wallinga J. Dot map cartograms for detection of infectious disease outbreaks: an application to Q fever, the Netherlands and pertussis, Germany. *Eurosurveillance*. 2017. Vol. 22. № 26. Article 30562.
63. Шмаглій О. Особливості просторової організації сировинної бази харчової промисловості України. *Продовольчі ресурси*. 2016. Т. 4. № 7. С. 239–250.
64. Бондаренко Е. Л. Картографування екологічної якості природного середовища. *Картографія та вища школа*, 2008.
65. Навольська Н. В. Дослідження ринку хліба і хлібобулочних виробів в Україні. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2016. № 11. С. 442–445.

66. Россоха В., Петриченко О. Розвиток ринку молока та молокопродукції в Україні. *Економіка АПК*. 2018. № 8. С. 47–54.
67. Лебська Т., Очколяс О. Профіль флейвору вершкового масла з морськими водоростями. *Товари і ринки*. 2016. № 2. С. 109–116.
68. Зацерковний В. І., Тішаєв І. В., Демидов В. К. Методологія наукових досліджень : навч. посіб. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. 236 с.
69. Nair P. K. R., Nair, V. D. Organization of a research paper: The IMRAD Format. *Scientific Writing and Communication in Agriculture and Natural Resources*. Cham : Springer, 2014. P. 13–25. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-03101-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03101-9_2)
70. Gulpinar O., Gucal Guclu A. How to write a review article? *Turkish Journal of Urology*. 2014. Vol. 39. № 1. P. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.5152/tud.2013.05>
71. Ali P. A., Watson R. Peer review and the publication process. *Nursing Open*. 2016. Vol. 3. № 4. P. 193–202. DOI: <https://doi.org/10.1002/nop2.51>
72. Самохвалова О. В., Касабова К. Р., Шидакова-Каменюка О. Г., Загорулько О. Є., Загорулько А. М. Оцінка якості мармеладу з додаванням багатокомпонентної плодово-ягідної пасти. *Наукові праці НУХТ*. 2023. Т. 29. № 1. С. 119–129. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-1-11>
73. Авдєєва Л. Ю., Декуша Г. В., Жукотський Е. К. Ферментативні білкові гідролізати для спеціалізованих харчових продуктів. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26. № 3. С. 197–204. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2020-26-3-22>
74. Пасічний В. М., Хорунжа Т. О., Полумбрик М. М. Дослідження впливу пастеризації на органолептичні, реологічні та фізико-хімічні характеристики сосисок. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26. № 3. С. 214–221.
75. Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Кочубей-Литвиненко О. В., Андронович Г. М. Насіння льону як рецептурний компонент хлібо-булочних виробів. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26. № 4. С. 178–189. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2020-26-4-20>
76. Романова З. М., Федорова Н. В., Романов О. С. Дослідження впливу часткової заміни хмелю нетрадиційною сировиною на показники готового пива. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26. № 2. С. 170–175. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2020-26-2-17>
77. Король Я. Д., Сторожук Н. В. Використання мас-спектрометра МХ-7304А для дослідження складу рідин. *Вісник Черкаського університету. Серія: Фізико-математичні науки*. 2015. Вип. 16 (349). С. 71–79.
78. Кузьмін О. В., Польовик В. В., Березова Г. О., Грушевська І. О. Дослідження антиоксидантної здатності настоїв із кавозамінників. *Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі : матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції, присвяченої до 70-річчя з дня народження професора В. Ф. Доценка, 17 травня 2022 р., м. Київ. Київ : НУХТ, 2022. С. 59.*
79. 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.
80. Paul A. A., Kumar S., Kumar V., Sharma R. Milk analog: plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. № 60 (18). P. 3005–3023. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243>
81. Цебро А. Д. Фізико-хімічні та органолептичні показники рослинного молока. *Сучасний розвиток технологій тваринництва. Інноваційні підходи в харчових технологіях : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (21 жовтня 2021 р.). Білоцерківський НАУ, 2021. С. 39–41.*
82. 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. Ярошук. 2-ге вид., допов. Електронні текстові дані (1 файл: 0,90 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 43 с.
83. ДСТУ 4487:2005. Майонези. Загальні технічні умови. Чинний від 2005-11-25. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 18 с.
84. Куць В. Р., Столярчук П. Г., Друзюк В. М. Кваліметрія : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 282 с.
85. ДСТУ 4333:2018. Мармелад. Загальні технічні умови. Чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 10 с.

86. ДСТУ 4735:2007. Морозиво з комбінованим складом сировини. Загальні технічні умови. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 38 с.
87. ДСТУ 7043:2009. Вироби макаронні. Загальні технічні умови. Чинний від 2009-06-25. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
88. ДСТУ 4188:2003. Халва. Загальні технічні умови. Чинний від 2004-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 14 с.
89. Blanco-Gutiérrez I., Varela-Ortega C., Manners R. Evaluating animal-based foods and plant-based alternatives using multi-criteria and SWOT analyses. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. № 17 (21). Article 7969. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17217969>
90. ДБН В.2.2-25:2009. Будинки і споруди. Підприємства харчування (заклади ресторанного господарства). Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 83 с.
91. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 57 с.
92. Дударев І. М., Сай В. А. SWOT-аналіз інфраструктури закладу ресторанного господарства на прикладі ідальні університету. *Товарознавчий вісник*. 2023. Т. 16. № 1. С. 47–62. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2023-17-4>
93. Мармоза А. Т. Практикум з математичної статистики : навч. посіб. Київ : Кондор, 2009. 264 с.
94. Чернелевський Л. М., Перетятко М. В., Соломчук Л. М. Статистика у галузях харчової промисловості: теорія і практика : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2012. 331 с.
95. Демків Т. М., Конопельник О. І., Шопя Я. І. Основи теорії похибок фізичних величин : методичні матеріали для загального фізичного практикуму. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені І. Франка, 2008. 40 с.
96. ДСТУ 3651.0:97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. Чинний від 1997-10-09. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1998. 9 с.
97. Голубева К. М., Кашпур О. Ф., Ключин 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.
98. Горват А. А., Молнар О. О., Мінькович В. В. Методи обробки експериментальних даних з використанням MS Excel : навч. посіб. Ужгород : Видавництво УжНУ «Говерла», 2019. 182 с.
99. Остапчук М. В., Станкевич Г. М. Математичне моделювання на ЕОМ : підручник. Одеса : Друк, 2006. 313 с.
100. Боровик О. В., Боровик Л. В. Дослідження операцій в економіці : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 424 с.
101. Карагодова О. О., Кігель В. Р., Рожок В. Д. Дослідження операцій : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 256 с.
102. Кучма М. І. Математичне програмування: приклади і задачі : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2008. 344 с.
103. Дударев І. М., Панасюк С. Г. Технологічні розрахунки переробних та харчових виробництв : навч. посіб. Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2019. 432 с.
104. Баль-Прилипка Л. В., Леонова Б. І. Зниження вмісту нітриту натрію у варених ковбасах за допомогою денітрифікуючих мікроорганізмів. *Biotechnologia Acta*. 2015. Т. 8. № 3. С. 110–115. DOI: <https://doi.org/10.15407/biotech8.03.110>
105. Алексєєнко М. С., Літвяк В. В., Сиса А. Г., Грабовська Е. В., Галенко О. О. Оптимізація технологічних режимів кислотного гідролізу картопляного крохмалю. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26. № 3. С. 222–233. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2020-26-3-25>
106. Белінська А., Петік І., Близнюк О., Бочкарев С., Хареба О. Біоінженерні дослідження інактивації інгібіторів протеолітичних ферментів кунжуту в спортивному харчуванні. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 19. С. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-04>
107. Боднарчук О. Особливості формування властивостей молочно-жирових емульсій для виробництва вершкових паст із додаванням стабілізуючих систем. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 18. С. 30–42. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-03>
108. Matsechik I. V., Lebedeva T. A. The influence of berry and vegetable infrared dried powder on rheological and organoleptic properties of curds dessert. *Bulletin of KrasGAU*. 2007. № 5. P. 221–227.
109. Grokhovsky V. A., Molchanovsky I. A., Bondarenko A. G. Developing the technology of mayonnaise sauce with sea urchin caviar, laminaria and nettle. *Bulletin of MSTU*. 2015. № 4. P. 626–635.
110. Лісовська Т. О., Чорна Н. В. Технологія бісквітного напівфабрикату з використанням борошна кукурудзяного екструдованого : монографія. Харків : ХДУХТ, 2020. 126 с.

*Навчальне видання*

**ДУДАРЄВ Ігор Миколайович,  
КУЗЬМІН Олег Володимирович**

## **ПРАКТИКУМ З МЕТОДОЛОГІЇ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Навчальний посібник

Технічний редактор Ю. Назарова  
Дизайн обкладинки В. Савельєва  
Верстка Ю. Семенченко



Підписано до друку \_\_\_\_\_ р.  
Формат 60×84/16. Папір офсетний.  
Цифровий друк. Гарнітура Cambria.  
Ум. друк. арк. 16,16. Наклад 300.  
Замовлення № 0523-045.

Видавництво та друк: Олді+  
65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1,  
тел.: +38 (095) 559-45-45, e-mail: office@oldiplus.ua  
Свідоцтво ДК № 7642 від 29.07.2022 р.  
Замовлення книг:  
тел.: +38 (050) 915-34-54, +38 (068) 517-50-33  
e-mail: book@oldiplus.ua

