



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет переробних і харчових виробництв

Кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів

ГАВРИШ Т.В., ШАНІНА О.М., ОЛІЙНИК С.Г.

СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ТА НАУКОВОГО ПОШУКУ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 181 «Харчові технології» ОПП «Технології зернопродуктів та зернові ресурси»



Харків 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет переробних і харчових виробництв
Кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів

ГАВРИШ Т.В., ШАНІНА О.М., ОЛІЙНИК С.Г.

**СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ
ТА НАУКОВОГО ПОШУКУ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 181 «Харчові технології» ОПІ «Технології зернопродуктів та зернові ресурси»

Затверджено рішенням Науково-методичної комісії факультету переробних і харчових виробництв
Протокол № 5 від «29» січня 2025р.

2025 р

Харків

УДК 664.6/.7:001.891](075.8)

Г 20

Схвалено на засіданні кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів Протокол №9 від 23.01.2025 .

Рецензент: О.В. Самохвалова, канд. техн. наук, професор кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів Державного біотехнологічного університету

Г 20 Стратегії оптимізації технологій та наукового пошуку: конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 181 «Харчові технології» ОПП «Технології зернопродуктів та зернові ресурси» / уклад.: Гавриш Т.В., Шаніна О.М., Олійник С.Г. - Харків: ДБТУ, 2025. – 73 с.

Конспект лекцій з дисципліни «Стратегії оптимізації технологій та наукового пошуку» відповідає робочій програмі навчальної дисципліни, призначений для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 181 «Харчові технології» ОПП «Технології зернопродуктів та зернові ресурси». Висвітлено питання методології та методів аналізу технологічних систем у конспекті лекції, зокрема організація технологічного потоку, проблеми розвитку та принципи вдосконалення технологічних процесів. Розглянуто системний підхід до дослідження технологічних потоків та застосування методів моделювання для оптимізації технологічних систем. Особлива увага приділяється обробці експериментальних даних із використанням математичних методів, таких як метод найменших квадратів, дисперсійний аналіз та регресійний аналіз. Крім того, розглянуто оптимізацію технологічних процесів у галузях, таких як круп'яне та борошномельне виробництво, з використанням сучасних методів симплекс-планування, а також процеси апробації наукових досліджень через написання наукових статей та підготовку доповідей

УДК 664.6/.7:001.891](075.8)

Відповідальний за випуск: С.Г. Олійник, канд.техн.наук, професор кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів ДБТУ

© Гавриш Т.В., Шаніна О.М., Олійник С.Г., 2025

© ДБТУ, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Змістовий модуль 1. Методологія аналізу технологічних систем	
Лекція 1. Технологічний потік - організація, проблеми розвитку і принципи вдосконалення.....	6
Лекція 2. Системний підхід до дослідження технологічних систем.....	16
Лекція 3. Моделювання технологічних систем галузі.....	23
Лекція 4. Алгоритм і методи вирішення задач оптимізації технологічних систем.....	35
Змістовний модуль 2. Вирішення оптимізаційних задач галузі. Апробація результатів досліджень	
Лекція 5. Оптимізація технологічних процесів: круп'яне виробництво.....	51
Лекція 6. Оптимізація технологічних процесів галузі: борошномельне виробництво.....	56
Лекція 7. Апробація результатів наукових досліджень: написання статей.....	64
Лекція 8. Апробація результатів наукових досліджень: підготовка доповіді	69
Література.....	72

ВСТУП

Конспект лекцій з дисципліни «Стратегії оптимізації технологій та наукового пошуку» має на меті ознайомити студентів із основними аспектами аналізу, оптимізації та вдосконалення технологічних систем. В рамках курсу розглядаються методологічні підходи та інструменти, що використовуються для ефективного управління технологічними процесами, а також для забезпечення наукового пошуку та апробації досліджень у різних галузях.

Основна увага приділяється детальному аналізу технологічних потоків, моделюванню технологічних систем та методам оптимізації, що дозволяють підвищити ефективність виробничих процесів. Студенти зможуть ознайомитись із системним підходом до дослідження технологічних систем, використовувати математичні методи для обробки експериментальних даних, а також застосовувати конкретні техніки для вирішення задач оптимізації.

Крім теоретичних основ, значна частина курсу присвячена практичним заняттям, на яких студенти вивчають методи обробки даних за допомогою статистичних інструментів, таких як метод найменших квадратів, дисперсійний аналіз, регресійний аналіз, а також планування екстремальних експериментів. Особлива увага приділяється оптимізації технологічних процесів у галузях, таких як круп'яне та борошномельне виробництво, що дозволяє студентам на практиці застосувати отримані знання.

Завершальний етап курсу включає апробацію наукових результатів: написання наукових статей, підготовка доповідей та їх публікація, що дозволяє студентам не тільки освоїти теоретичну частину, але і розвивати навички наукового пошуку, комунікації та публікації результатів своїх досліджень.

Змістовий модуль 1. Методологія аналізу технологічних систем

Лекція 1. Технологічний потік - організація, проблеми розвитку і принципи вдосконалення

План лекції:

1. Поняття технологічного потоку
2. Класифікація технологічних потоків
3. Операція, як складова частина технологічного потоку
4. Проблеми розвитку реальних технологічних потоків
5. Основні принципи і методи вдосконалення технологічних процесів

1. Поняття технологічного потоку

Технологічний потік - це безперервна сукупність процесів перетворення вихідної сировини у кінцевий продукт.

Технологічний потік реалізується в лінії, що складається з машин, апаратів й агрегатів, погоджених по продуктивності, і з'єднувальних транспортуючих пристроїв.

Такий потік має свої закономірності, які необхідно знати, щоб створювати високоефективні технологічні лінії.

Усі харчові технології за способами дії на сировину класифікують на 4 групи:

Група	Виробництво	Процеси
1 група фізичні технології	борошняно-круп'яне, макаронне, кондитерське, консервне, комбікормове тощо	<i>Механічні:</i> змішування, розділення, подрібнення, формоутворення ; <i>Теплофізичні:</i> випікання, сушіння, <u>обсмаження</u> , стерилізація
2 група фізико - хімічні технології	виробництво цукру, крохмалю, олія, деяких кондитерських виробів тощо	<u>Фізичний</u> вплив на сировину для <u>вилучення корисних властивостей</u> (наприклад, дифузія) і <u>хімічні</u> методи їх подальшої обробки (наприклад, екстракція)
3 група хімічні технології	виробництво патоки, харчової глюкози, жирових продуктів, етилового спирту тощо	<u>Хімічні реакції:</u> гідроліз (наприклад, крохмалю), гідрогенізація, <u>переетерифікація</u> , гідратація (етилену)
4 група біохімічні технології	виробництво хліба, <u>хлібопекарських або спиртових дріжджів</u> , пива, вина, спирту тощо	Процеси життєдіяльності мікроорганізмів

2. Класифікація технологічних потоків

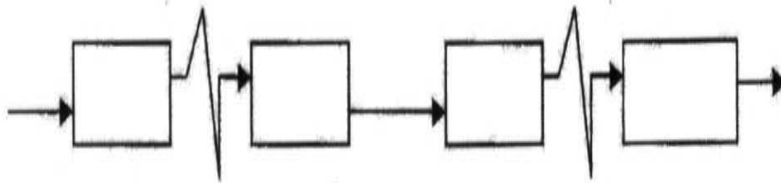
Організація ТП визначається не тільки якістю складових його операцій, а й видом зв'язків між його окремими операціями і видом зв'язку гілок потоку.

За видом зв'язку між операціями будь-який ТП можна віднести до одного з трьох типів :

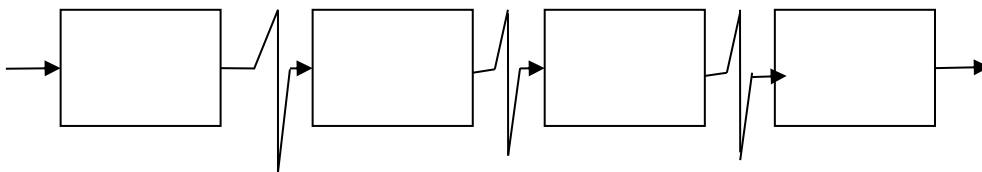
1 - потік з жорстким зв'язком (між виходом попередньої і входом наступної операції)



2 - потік з напівжорстким зв'язком (гнучкі зв'язки у вигляді операції зберігання в накопичувачах, бункерах, ємкостях)

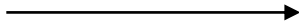
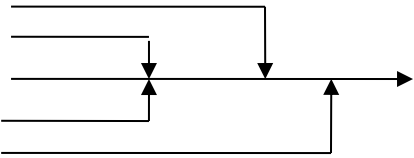
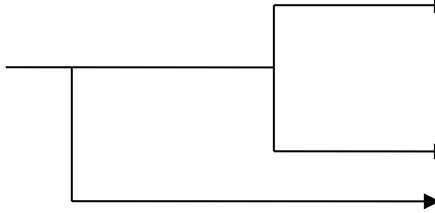
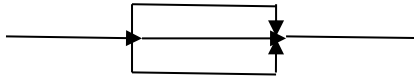


3 - потік з гнучким (нежорстким) зв'язком



За видом зв'язків гілок технологічні потоки бувають поділяються на чотири групи

Класифікація ТП за видом зв'язків між гілками

Назва потоку	Позначення	Напрямок використання
А - нерозгалужений		для перетворення одного виду сировини в один вид продукції (виробництво цілісного молока, потоки з крохмалю, вівсяної крупи)
Б – розгалужений, що сходиться		для виробництва з декількох видів сировини одного виду продукції (виробництво хліба, сиру, тістечок)
В – розгалужений, що розходиться		з одного виду сировини одержують декількох видів продукції (вироблення борошна 1 і 2 сортів при помелі пшениці, вироблення какао-порошку, какао-масла, шоколаду при переробці какао-бобів)
Г - розгалужений з паралельними гілками		у разі одночасного паралельного функціонування ряду ідентичних операцій; можна виділити головні і допоміжні гілки (на головній - провідні операції, на допоміжній - операції по виготовленню і миттю тари, додаткових напівфабрикатів)

3. Операція – як складова частина технологічного потоку

Технологічний потік складається з різних технологічних операцій перетворення вихідної сировини й процесів транспортування його й проміжних продуктів між операціями. Отже технологічні операції виконують дві функції: обробку об'єкта (технологічний процес) і подачу об'єкта обробки в робочу зону (транспортний процес).

Комбінація технологічного й транспортного процесів приводить до формування чотирьох класів операцій..

За критерієм взаємозв'язку технологічного і транспортного процесів усі операції ділять на 4 класи.

В операціях I класу технологічна обробка маси відбувається тільки після завершення транспортної операції (подачі заготівлі в робочу зону) тобто один процес переривається іншим. Це операції дискретної дії.

Для конкретної операції продуктивність задана однозначно, тому технологічні операції I класу не можуть бути основою для створення високоефективних ліній. Однакова продуктивність машин у таких лініях може бути лише результатом випадкового збігу значення технологічних параметрів на різних операціях.

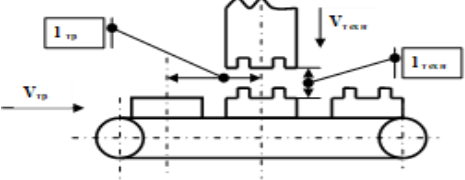
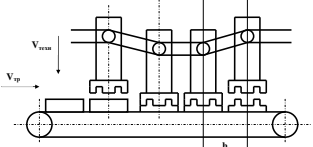
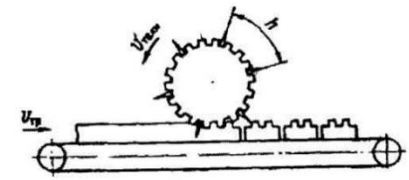
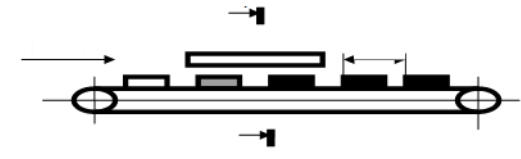
Для *операції II класу* характерний збіг у часі транспортного й технологічного процесів. Транспортний процес стає безперервним, а транспортна $v_{тр}$ і технологічна $v_{техн}$ швидкості рівні між собою.

Умовою однакової продуктивності машин й апаратів у лінії, де реалізуються тільки операції II класу, також є рівність тривалості технологічних циклів. Така умова забезпечується лише в окремих випадках. Тому ймовірність збігу значень продуктивності встаткування таких ліній досить мала.

Операції III класу відрізняються від операцій II класу незалежністю транспортного й технологічного процесів. У цих операціях обробка об'єктів здійснюється при їхньому безперервному транспортуванні разом з робочими органами через робочу зону по якій-небудь замкнутій траєкторії. В автоматичних лініях використання операцій III класу досить перспективно, оскільки при високій продуктивності можуть забезпечувати стабільна якість продукції.

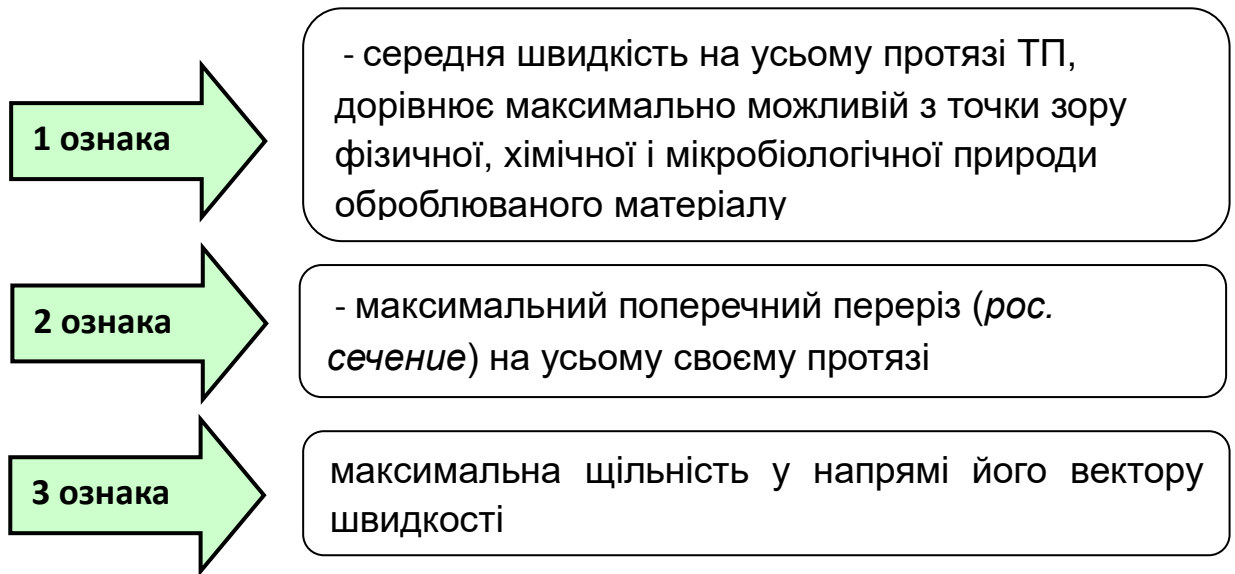
Для *операцій IV класу* також характерна незалежність швидкості транспортного процесу від технологічної швидкості. В операціях IV класу заготовки обробляються при транспортуванні через робочу зону. Поняття «робочий орган» замінюється поняттям «робітничє середовище», що здійснює технологічний вплив безпосередньо на весь потік, що проходить через робочу зону. Точніше машини цього класу операцій варто називати апаратами.

Класифікація операцій за критерієм взаємозв'язку технологічного і транспортного процесів

Клас операцій	Характеристика
I клас	<p><i>Дискретність дії транспортного і технологічного потоків</i></p> <p>технологічна обробка => транспорт транспорт =>технологічна обробка;</p>  <p>Продуктивність операцій першого класу складає:</p> $П^1 = \tau_{\text{трансп}} + \tau_{\text{технол}}$ <p>Для $\uparrow П^1$ потрібно $\downarrow \tau_{\text{трансп}}$, $\downarrow \tau_{\text{технол}}$.</p>
II клас	<p><i>Збіг у часі транспортного і технологічного процесів</i></p>  <p>$П2 = \tau_{\text{трансп}}$ і $П2 = \tau_{\text{технол}}$</p>
III клас	<p><i>Взаємна незалежність транспортного і технологічного потоків</i> (об'єкти обробляються при їх безперервному транспортуванні спільно з робочими органами через робочу зону по замкнутій траєкторії.)</p>  <p>$П3 = \text{кроку виходу виробів} / \text{транспортній швидкості} /$ Швидкість транспортування не залежить від технологічної швидкості.</p>
IV клас	<p><i>Масове транспортування об'єктів в довільному положенні через робочу зону.</i></p> <p>Поняття "Робочий орган" замінюється на поняття "Робоче середовище". Це машини - апарати.</p>  <p>$П4$ підвищується в результаті збільшення транспортної швидкості</p>

4. Проблеми розвитку реальних технологічних потоків

Ознаки ідеального технологічного потоку :



Ознаки 2 і 3 - щоб на одиниці довжини потоку розмістити найбільшу кількість об'єктів, тобто забезпечити максимальну продуктивність ТП.



Проблеми розвитку реальних ТП :

Перша проблема - здійснення однакової продуктивності на усіх операціях, об'єднаних в ТП.

При неоднаковій продуктивності:

- потік розподіляється на декілька струмків;
- дорожчання апаратного оформлення;
- нестабільність якості;
- недовантаження устаткування.

Друга проблема - збереження коефіцієнта використання машин при збільшенні числа об'єднаних в ТП операцій.

- зупинка однієї машини призводить до зупинки лінії, тому починаючи з деякого числа операцій перехід від роздільних машин до ліній недоцільний;
- застосування накопичувачів призводить до дорожчання ліній, збільшення виробничих площ;
- немає ідеального ТП, оскільки швидкість не є постійною.

Третя проблема - універсальність машин і апаратів для обробки сировини з різними властивостями і для випуску виробів різної форми.

Якщо немає універсальності:

- при випуску нового виробу потрібно значну реконструкцію або установку нової технологічної лінії.

Четверта проблема - нетривалість часу випуску конкретного продукту, обумовлена малою потребою або необхідністю великого асортименту.

- автоматична зміна робочих органів машин без припинення нормального руху ТП;

- безперервна адаптація міжопераційних транспортних пристроїв до об'єктів обробки, що змінюються.

П'ята проблема - технологічний потік має бути рентабельним.

- витрати на створення ТП мають бути менші, ніж економічний ефект від його експлуатації;

- виняток становлять небезпечні і шкідливі виробництва, де головний критерій - здоров'я людини.

5. Основні принципи вдосконалення технологічних процесів

Основні принципи:

1. принцип найкращого використання сировини;
2. скорочення часу процесу;
3. принцип раціонального використання енергії;
4. принцип раціонального використання устаткування;
5. принцип оптимального варіанту;
6. мінімального нанесення шкоди довкіллю

1. Принцип найкращого використання сировини. У харчовій промисловості вартість сировини складає значну частину загальної вартості виробництва, тому максимальне його використання є одним з найважливіших шляхів зниження питомих витрат. При складанні матеріального балансу враховують початкові речовини, що беруть участь в процесі і усі продукти, що утворюються. Це перший етап, що виконується під час аналізу і синтезу технологічної схеми виробництва.

Він дозволяє оцінити міру використання початкової сировини і встановити етапи процесу, на яких сировина використовується ефективніше. За основу матеріального балансу зазвичай приймають одиницю маси продукту або кількість продукту, що отримується в одиницю часу (в годину, доба, рік).

Основні критерії якості сільськогосподарської сировини, як правило, пов'язані зі змістом використаних компонентів, мінімальною кількістю домішок, відсутністю ушкоджень, які ведуть до втрат при зберіганні і

погіршують якість. Особливі вимоги до якості сільськогосподарської сировини пред'являються при виробництві дієтичних продуктів і продуктів дитячого харчування. Тут існують суворі обмеження при вирощуванні (добрива, ядохімікати, гербіциди).

2. Скорочення часу процесу. Інтенсифікація процесу (збільшення його швидкості) досягається наступними шляхами:

- збільшенням різниці потенціалів;
- збільшенням поверхні зіткнення фаз і іншими способами.

Під різницею потенціалів розуміють віддаленість системи від стану рівноваги, тобто, при *тах* рушійній силі процесу. Для масообміну рушійною силою є концентрація, маса речовин, для теплообміну - різниця температур, для динамічних процесів - різниця тиску. Збільшення концентрацій взаємодіючих компонентів - це один з поширених прийомів інтенсифікації процесів. Значний вплив на швидкість процесу і стан рівноваги чинить тиск, особливо в газовому середовищі, оскільки при цьому збільшуються концентрації реагентів. У харчовій промисловості зміною тиску користуються для інтенсифікації випаровування, ректифікації, гідролізу. Зміну температури використовують для інтенсифікації процесів сорбції, адсорбції, ресорбції, сушки. Швидкість процесів сорбції збільшується зі зниженням температури рідкої фази середовища, а в процесі ресорбції, навпаки, зі збільшенням температури. Для інтенсифікації сушки застосовують збільшення температури сушарного агента. Підвищення температури призводить до збільшення констант швидкості реакції, коефіцієнтів теплопередач, тепловіддачі, масообміну, дифузії, внаслідок чого сумарна кількість збільшується.

3. Раціональне використання енергії. Харчова промисловість споживає значну кількість енергії, яка використовується на проведення технологічних операцій, транспортування і інших допоміжних операцій. Витрата електроенергії визначається кількістю кіловат-годин на одиницю продукції, а теплової - кількістю тепла на одиницю продукції. Витрата електроенергії, головним чином, використовується в приводних облаштуваннях машин, транспортуючих засобів, а іноді для перетворення на теплову енергію для стерилізації, плавлення, сушки, ректифікації і іншого. Теплова енергія найчастіше використовується у вигляді пари або гарячої води. Ефективність використання встановлюється в розрахунках теплового (енергетичного) балансу. Економії енергії можна добитися:

- використанням сучасного вигляду устаткування,
- застосуванням енергоємних операцій,
- багатократним використанням теплоти,
- зменшенням втрат тепла в довкілля,
- доведенням технологічних операцій до певної міри завершеності (не потрібно пересушувати, надто подрібнювати).

4. Раціональне використання устаткування. Суть цього принципу полягає в максимальному отриманні виходу продукції з одиниці об'єму або поверхні апарату, з одиниці довжини або площі робочих органів його. Він спрямований на найкраще використання робочого простору. Величина

амортизаційних відрахувань не міняється, а кількість отриманого продукту збільшується. Один із способів реалізації : повернення (рециркуляція) потоків регенерація теплоти або повторне її використання.

Інший спосіб: узгодження одиничних операцій і технологічних потоків. Для цього в кожному апараті за одиницю часу повинна перероблятися однакова кількість матеріалів. Якщо тривалість складних операцій різна, необхідно передбачати проміжні місткості. Для збільшення рівномірності потоків один, періодично працюючий апарат можна замінити деяким числом дрібних апаратів, цикли роботи яких зміщені один відносно одного. Принцип найкращого використання устаткування визначає вимоги до машин і апаратів: так продуктивність і інтенсивність роботи; найбільший вихід продукції і розділяюча здатність процесу, мінімальні енергетичні витрати на здійснення процесу; стійкість режиму, легка керованість і безпека при обслуговуванні, низька вартість апарату і ремонту, надійність в роботі, можливість установки виконавчих органів. Ці чисельні вимоги взаємозв'язані і суперечливі, тому на практиці приймають найбільш прийнятне рішення для забезпечення підтримки параметрів процесу на рівні заданих; мінімальна собівартість і належна якість готового продукту.

5. Оптимальний варіант. Він передбачає принцип найкращого поєднання послідовності технологічних операцій, технологічних режимів, конструктивних параметрів машин, основних законів управління і економіки відповідно до конкретних умов цього підприємства, воно спрямоване на підвищення якості харчових продуктів і зниження витрат. Цей принцип являється засадничим при проектуванні харчових підприємств. Він виражається: у виборі такої послідовності операцій режимів машин, порядку їх розміщення, розміщення трубопроводу і інших комунікацій, засобів автоматизації і механізації, які б забезпечила при мінімальних витратах досягнення заданих технологічних цілей. На практиці такі завдання вирішують або емпірично (перебір варіантів), або аналітично з використанням ЕОМ і методів програмування. Дотримання принципу оптимального варіанту вимагає величезної кількості розрахунків; технологічних; конструктивних; техніко-економічних і інших. У реальних умовах ці розрахунки виконує широке коло фахівців. Знання основних принципів вдосконалення технологічних процесів потрібне для аналізу існуючих процесів і проектування.

6. Принцип мінімального нанесення шкоди довкіллю. При вдосконаленні технологій враховують при вдосконаленні викидів в довкілля (стічні води, гази, мінімальний зміст в стічних водах органічних домішок). Харчові технології досить складні, багатопланові, тобто їм властиві усі властивості складних систем, тому їх вивчення можливо тільки з використанням системного аналізу.

Питання для самоконтролю

1. Які основні особливості технологічного потоку та його складових елементів?
2. Як класифікуються технологічні потоки за видами зв'язків між операціями та гілками потоку? Наведіть приклади кожного типу.
3. Які є класи технологічних операцій? Як взаємодіють транспортні та технологічні процеси в кожному класі?
4. Які основні проблеми виникають у розвитку реальних технологічних потоків, і як їх можна вирішити?
5. Як класифікуються харчові технології за способом дії на сировину? Які основні процеси характерні для кожної групи?

Лекція 2. Системний підхід до дослідження технологічних систем

План лекції

1. Поняття системності і системного підходу
2. Характеристика систем
3. Класифікація систем
4. Властивості і закономірності систем

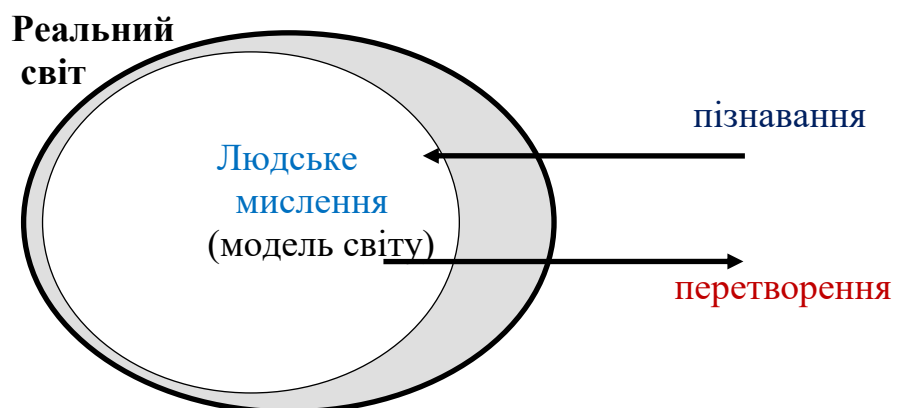
1. Поняття системності і системного підходу

Світ, що оточує нас, і діяльність людини, спрямована на пізнання і перетворення світу, з точки зору сучасної науки, носять системний характер. Системність світу виражається у вигляді об'єктивно існуючої ієрархії по-різному організованих, взаємодіючих між собою природних і штучних систем.

Системність мислення полягає в тому, що наші знання представляються у вигляді ієрархічної системи взаємозв'язаних моделей навколишнього світу. Людина є частиною природи, але його мислення має певну самостійність відносно навколишнього світу. Розумові конструкції, що виникають у нього в голові, не обов'язково підкоряються обмеженням реальних конструкцій. Але: практична реалізація людських спрямувань неминуче вимагає узгодження системності мислення і системності світу. Це узгодження йде по двох напрямках:

пов'язано з практикою пізнання (при цьому йде зближення моделей з реальністю)

пов'язано з практикою перетворення (мета - наближення реальності до моделей)



Потрібно відмітити, що чим краще людиною пізнаний світ, чим точніше його модель, тим вище вірогідність реального перетворення світу.

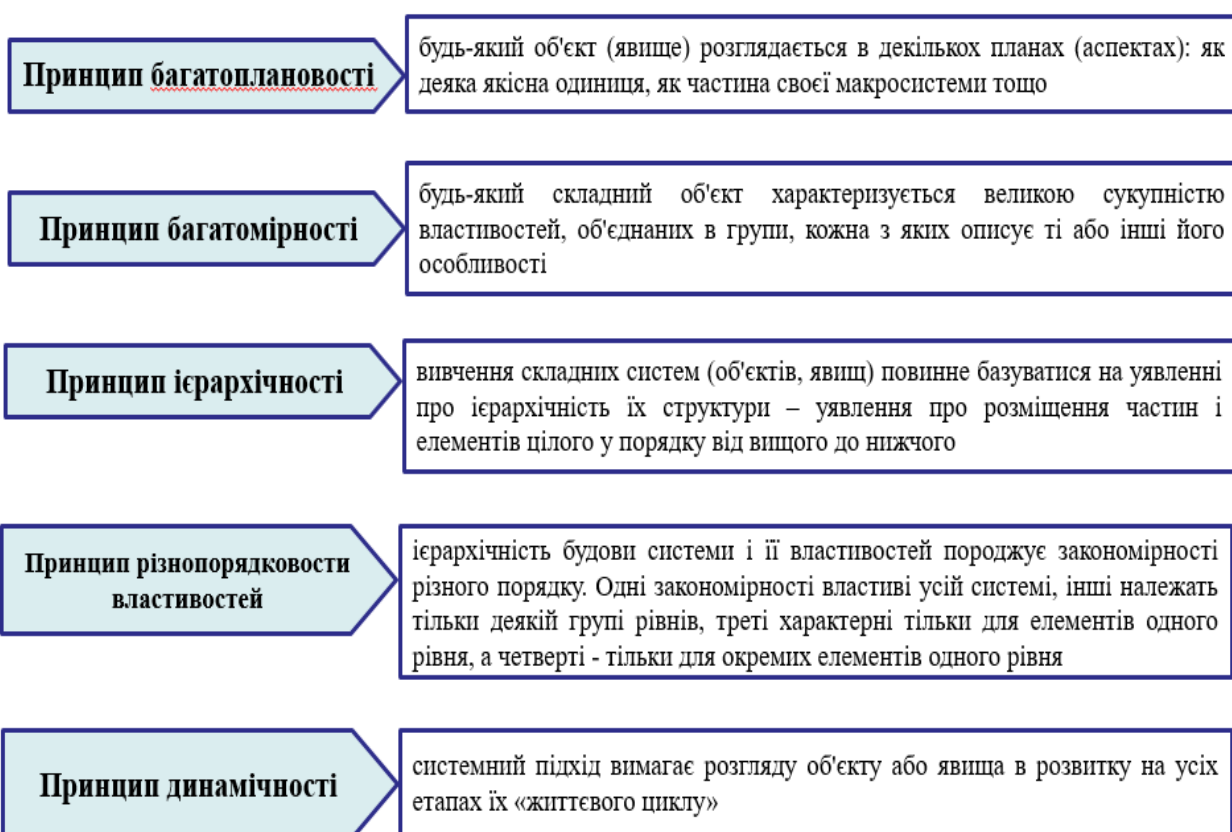
У тих випадках, коли створена людським мисленням модель далека від реальності, потрібно подальше пізнання світу і тоді:

Отже, *системність* – здатність бачити єдність взаємозв'язків у явищах і законах розвитку

Таким чином, цінність системного підходу, системного аналізу полягає в тому, що він є методикою і практикою цілеспрямованого перетворення як самої людини, так і навколишнього світу.

Системний підхід - це всебічне систематизоване дослідження складного об'єкту в цілому з всією сукупністю його внутрішніх і зовнішніх зв'язків, яке проводиться з метою поліпшення функціонування об'єкту

Методологія системного підходу базується на наступних основних принципах (*принцип* - це основне початкове положення якої-небудь науки, вчення, світогляду).



2. Характеристика систем

У дослівному перекладі з грецького термін "система" означає "сполучене, складене з частин". У цьому сенсі можна розглядати будь-який об'єкт навколишнього світу як систему. Більше того, всяке явище або проблему також можна представити сукупністю явищ або проблем. Увесь Всесвіт, уся природа, що оточує нас, є одна велика система, система систем.

Системою прийнято вважати організовану безліч елементів, що є єдиним цілим, має складну внутрішню будову і взаємодіє із зовнішнім середовищем.

Систему слід розуміти ще і як метод розгляду, як спосіб або засіб вирішення проблеми.

Система як об'єкт є безліччю елементів і стосунків між ними. Під стосунками мають на увазі структуру, обмеження, інформацію, організацію, зв'язок, з'єднання, взаємозв'язок, кореляцію і так далі

Якщо A - безліч відповідних елементів, R - безліч стосунків між елементами системи, то можна розглянути систему як впорядковану пару:

$$S = (A, R)$$

Якщо кінцевим результатом функціонування системи, її критерієм вказують мету (Z - сукупність або структура цілей), то символічно цей вираз можна записати таким чином:

$$S = (A, R, Z)$$

З математичної точки зору система - це структура, в яку в певні моменти часу вводиться речовина (об'єкт, енергія) і з якої в якісь моменти часу щось. Інакше кажучи, в кожен момент часу система отримує деяку вхідну дію $U(t)$ і породжує деяку вихідну величину $Y(t)$.

Виходячи з цього визначення системи, слід розглянути такі характеристики системи, як вхід, вихід і процес..

Входом системи вважають все те, що є джерелом живлення або функціонування системи.

Виходом називають мету функціонування, результат діяльності системи.

Процес - це вид діяльності системи, перетворюючий вхід на вихід.

✓ Фактично, Z - вихід (мета, результат), R - процес (стосунки).

Для того, щоб розглядати об'єкт як систему, необхідно передусім виділити його з середовища, яке є оточенням об'єкту.

Середовище - це сукупність об'єктів, що не належать цій системі, але взаємодіють з нею. Це те, де утворюється вхід і куди йде вихід. Це не все те, що оточує, а лише те, що взаємодіє. Межі між системою і середовищем можуть змінюватися залежно від цілей дослідження і рішення спостерігача включати ті або інші складові в систему або ж віднести їх до середовища.

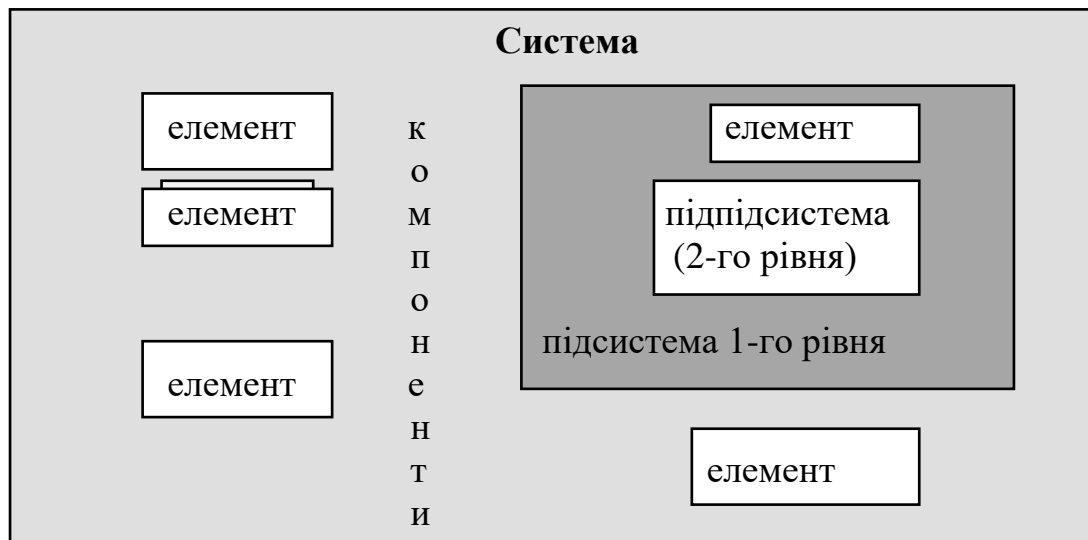
Розгляд системи нерозривно пов'язаний з поняттям мети. Розрізняють цілі об'єктивні і суб'єктивні.

Мету вважають *суб'єктивною*, якщо йдеться про бажаний стан системи, в якому досягається результат діяльності системи. Така мета задається людиною; вона має бути конкретна і реально здійсненна.

Об'єктивними називають такі цілі, які є майбутнім реальним станом системи, що реалізовується природою.

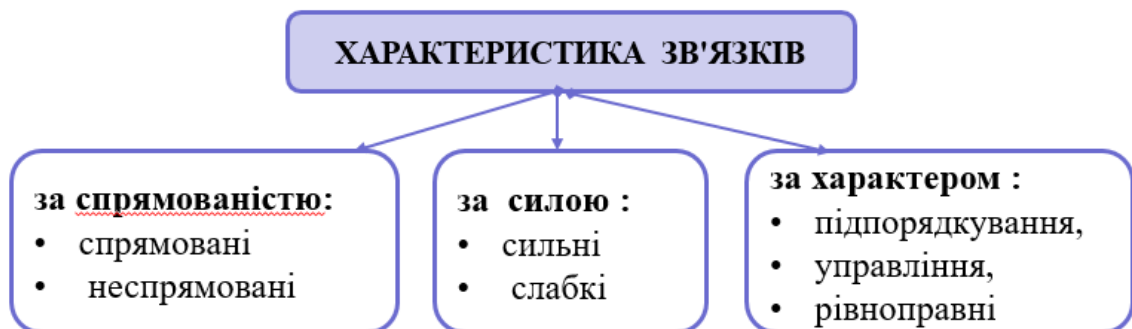
Елемент - проста неділима частина системи. Неділима не тому, що подальший поділ неможливий, а тому, що він не потрібний у рамках поставленої мети.

Підсистеми - частини системи, які складаються з елементів, мають властивість цілісності і мають підціль. Якщо для групи елементів не виконується умова цілісності і не визначена мета, то такі групи відносять до *компонентів* системи.



Елементи системи об'єднуються в ціле за допомогою зв'язків, які :

- ✓ характеризують будову і функціонування системи;
- ✓ обмежують ступінь свободи елементів



Для того, щоб система не втрачала своєї цілісності, сумарна сила зв'язків між елементами системи має перевищувати сумарну потужність зв'язків між елементами системи і елементами середовища

$$P_{e...e} > P_{e...cp}$$

Будь яка система має *структуру* (від латинського - будова, розташування, порядок), яка відбиває різноманіття взаємозв'язків між складовими частинами системи, її будову.

Усі функції системи виконуються за наявності (за допомогою) потоків енергії, матерії і інформації. У системі можуть циркулювати одночасно декілька потоків.

Розрізняють наступні типи потоків :

- енергетичні;
- матеріальні;
- інформаційні;
- фінансові;
- людські (кадрові).

Потоки і структура системи знаходяться в тісній взаємозалежності.

3. Класифікація систем

Залежно від вирішуваної системної задачі класифікують системи за різними ознаками.



У теорії систем розрізняють системи *цілеспрямовані і цілепокладаючі*.

Цілеспрямовані системи характеризуються своєю діяльністю, спрямованою на досягнення певної мети, яка визначена зовні цією системою, та орієнтовані на перспективу свого розвитку (при цьому можливе виявлення зусиль з адаптації до умов існування у взаємодії із середовищем).

Цілепокладаючі системи вирізняються здатністю самостійно формувати цілі та планувати свою поведінку залежно від зовнішніх обставин.

4. Властивості і закономірності систем

Основна риса системи – її **цілісність (емерджентність)** (від англійського - виникнення з нічого, раптова поява, несподівана випадковість). Суть цілісності системи полягає в тому, що властивості системи не є простою сумою властивостей елементів, але залежать від цих властивостей. При цьому елементи системи можуть втратити деякі властиві їм раніше властивості, а система в цілому набуває нових властивостей, якими жоден з елементів системи не володіє.

Нові властивості з'являються завдяки новим конкретним зв'язкам між конкретними елементами. **Це так званий системоутворюючий чинник.**

Для кількісної оцінки міри цілісності технологічних систем використовують такі характеристики, як точність функціонування системи, стійкість, стабільність.

Узагальненою оцінкою **точності системи є вірогідність виходу придатних** (заданої якості) **виробів Р**.

Необхідно відмітити, що точність характеризує систему статистично. Для того, щоб більш повно оцінити функціонування системи в часі, використовують поняття **стійкість**, яке характеризує здатність системи зберігати точність показників якості в часі.

Стійкість характеризує якість функціонування системи. **Стабільність** як чинник цілісності – поняття ширше. Вона характеризує рівень організованості, розвитку, цілісності системи. Стабільний процес - це процес, що затвердився на певному рівні стійкості.

Кількісно стабільність системи розраховують за допомогою **ентропійної функції**. Можна записати ентропію системи в наступному вигляді:

$$H = - \sum P_{(x_i)} \log P_{(x_i)}$$

де $P_{(x_i)}$ - вірогідність попадання випадкової величини в інтервал X_{i-1} до X_i .

Іноді у якості синоніму цілісності вживають властивість **інтегративності**. Відмітимо, що інтеграційними називають такі чинники, які відіграють системотворну, системозберігаючу роль. Вони сприяють об'єднанню неоднорідних і суперечливих елементів системи.

Комунікативністю називають складну єдність системи з середовищем за допомогою безлічі комунікацій з системами вищого або нижчого порядку.

Властивість **ієрархічності** систем пов'язана з ієрархічною впорядкованістю світу і багаторівневістю усередині самої системи.

Моделювання - основний метод дослідження і представлення технологічних систем.

Питання для самоконтролю

1. Як визначається система з математичної точки зору, які елементи складають її структуру?

2. Що таке "вхід", "вихід" і "процес" в контексті системи, і яку роль вони відіграють у функціонуванні системи?

3. Які основні характеристики зв'язків між елементами системи і як вони впливають на цілісність системи?

4. Як класифікуються системи залежно від їхнього походження, зв'язків з середовищем та способів управління?

5. Які властивості та закономірності характеризують системи, зокрема цілісність, стійкість, стабільність і комунікативність?

Лекція 3. Моделювання технологічних систем галузі

План лекції

1. Моделювання як етап системного дослідження технологій галузі.
2. Графічні моделі технологічних систем.
3. Етапи побудови математичних моделей складних систем

1. Моделювання як етап системного дослідження технологій галузі.

Основою системного аналізу є моделювання аналізованих систем. Процес побудови моделей складних систем на практиці стикається з великими труднощами. Найбільші з них закладені в самому понятті "Складна система". Залежно від типу об'єкту дослідження використовується те або інше визначення складної системи.

До характерних особливостей складних систем відносяться:

- велике число взаємозв'язаних елементів і підсистем;
- складність функцій системи, спрямованих на досягнення цілей системи;
- багатовимірність системи, обумовлена наявністю великого числа зв'язків між підсистемами;
- взаємодія із зовнішнім середовищем і функціонування в умовах дії випадкових чинників;
- різноманіття фізичної природи підсистем і елементів;
- наявність безлічі показників, що характеризують різні властивості якості системи;
- наявність розгалуженої мережі інформаційних потоків і ієрархічність структури управління системою;
- неможливість широкого застосування класичних методів при аналізі системи через низький рівень формалізації процесів, що протікають в системі, а також складу і структури системи;
- існування ознак, що характеризують систему в цілому і відсутніх у підсистем (властивість емерджентності);
- значна міра невизначеності в інформаційних характеристиках стану системи.

Наведені особливості не дозволяють підійти до побудови складної системи з позицій класичного математичного моделювання. Опис системи, особливо на верхньому рівні, носить, як правило, вербальний характер. Важливу роль в побудові моделей складних систем відіграють імітаційні моделі, які, використовуючи великі можливості сучасної обчислювальної техніки, дозволяють об'єднати логіко-процедурні і аналітичні моделі, що описують окремі компоненти системи.

2. Моделі складних систем

Моделювання - основний метод дослідження і представлення технологічних систем. Разом з експериментальними методами дослідження широке поширення отримали абстрактно-теоретичні методи. Вивчення процесів і систем на моделях дозволяє:

- здолати складність реальних технологічних процесів,
- вирішувати завдання більш економними способами,
- звести до мінімуму ухвалення помилкових рішень проблем реальних технологічних систем.

Моделювання можна розглядати як деталізацію, конкретизацію, спрощення системи. Більш того, модель – це теж система зі своїми функціями і структурою, що відбивають структуру і функції системи-оригіналу.

Основні вимоги, що пред'являються до методів моделювання є:

- вищі економічність, простота, безпека досліджень, що проводяться на моделях в порівнянні з реальними об'єктами;
- знання правил розрахунку характеристик системи-оригіналу на основі даних, отриманих при вивченні моделі;
- адекватність результатів досліджень системи-моделі реальним процесам, що протікають в системі-оригіналі.

Об'єктні моделі дозволяють представити систему у вигляді машинно-апаратних схем.

Графічні моделі показують графічно елементи системи і технологічні зв'язки в ній.

Складні системи, виправдовуючи свою назву, на етапах їх дослідження піддаються різній мірі формалізації і деталізації залежно від міри пізнання їх складу, структури, властивостей, внутрішніх і зовнішніх взаємодій. Тому при їх моделюванні використовують **математичні, графічні і об'єктні види моделей**, а також їх комбінації. Існує декілька типів моделей їх представлення, а саме:

- модель складу системи;
- модель структури системи;
- модель "чорного ящика";
- модель "білого ящика"

Модель складу системи

Моделі цього типу є розвиненішими і детальнішими, оскільки дозволяють розрізнити внутрішній склад системи. А саме - поділ системи на елементи, підсистеми і компоненти. Всяке розділення на частини відносне. Залежно від цілей або точки зору дослідника системи один і той же об'єкт може бути в одному випадку представлений як елемент, в іншому (детальнішому представленні) - як підсистема з тими, що входять в неї елементами.

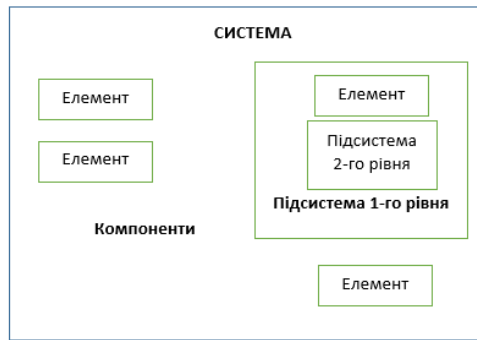


Рис. 1 - Модель складної системи типу "склад системи"

Модель структури системи

Сукупність необхідних і достатніх для досягнення мети стосунків між елементами називають структурою системи.

Раніше відзначалося, що зображення структури, а отже, і модель структури можна вважати засобом вивчення системи.

Зображують не усі зв'язки (стосунки) між об'єктами, яких в реальному об'єкті може бути велика кількість. Модель демонструє ті зв'язки, які, на думку дослідника, істотні по відношенню до даної мети.

Технологічні системи можна класифікувати за структурою. Види структур, що найчастіше зустрічаються, представлені на рис.3.

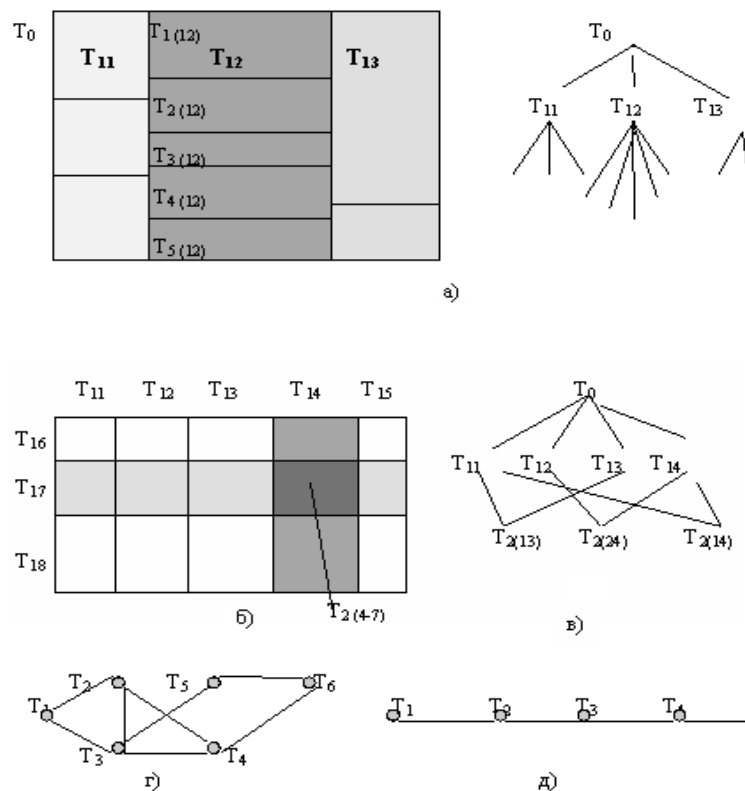


Рис. 2. Модель структури системи: ієрархічна деревовидна (а), комбінативна неієрархічна (б), і ієрархічна недеревовидна (в), мережева (г), лінійна (д)

Модель "чорний ящик"

Побудова моделі "чорного ящика" ґрунтується на виділенні системи з середовища і зображенні входів і виходів системи. Межі між системою і середовищем зазвичай не описуються, а визнаються існуючими. Скільки і які саме входи включати в модель, вимагає серйозного розгляду і визначається, у тому числі, цілями дослідження системи.

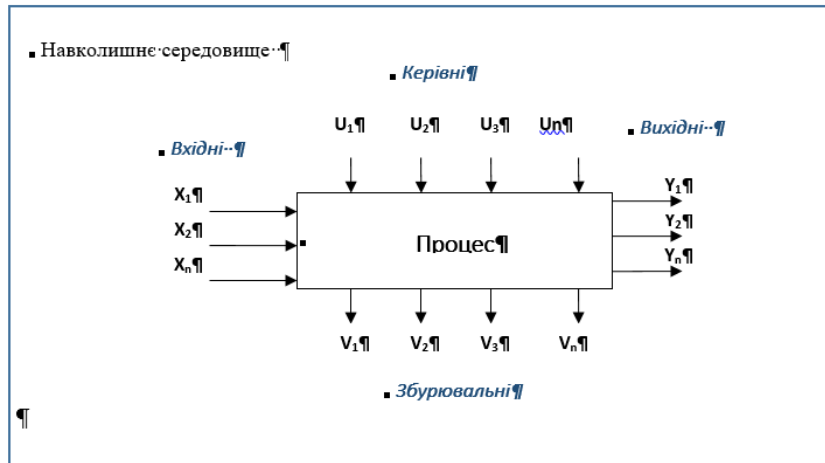


Рис. 3 - Параметрична схема технологічної системи (елементу) - модель типу "чорний ящик"

Використання моделі типу "чорний ящик" раціонально і в тих випадках, коли при дослідженні систем в природному стані втручання в процес їх функціонування неможливе. Це стосується таких складних систем, як, наприклад, мозок людини або деяка біосистема заповідника

Модель "білого ящика"

Для характеристики цієї моделі вживають і інші терміни: "структурна схема системи", "прозорий ящик", "конструкція системи".

У цій моделі вказують усі елементи системи (склад), їх зв'язки усередині системи (структура) і з довкіллям (входи і виходи), також виділяються параметри системи і довкілля.

Моделі складних систем охоплюють спектр підмоделей, що базуються на наступних розділах математики: математичний аналіз; теорія вірогідності; математична статистика; теорія надійності; теорія ефективності; теорія ігор; теорія масового обслуговування; теорія ухвалення рішень; теорія корисності; теорія розпізнавання зразків; теорія інформації; теорія управління; теорія оптимізації.

Виділення підсистем є важливим етапом у побудові формального опису технологічної системи. На підставі аналізу різних технологічних операцій, які виконуються для перетворення споживчих властивостей вихідної сировини

спочатку у властивості певних напівфабрикатів, а потім у споживчі властивості готової продукції, у складі будь-якої технологічної системи можна виділити три типи підсистем:

А - для виготовлення готової продукції з остаточного напівфабрикату;

В - для отримання остаточного напівфабрикату з проміжних напівфабрикатів;

С - для підготовки сировини до переробки і утворення проміжних напівфабрикатів з вихідної сировини.

Представити технологічні системи у вигляді підсистем і елементів можливо за допомогою різних **графічних моделей**: функціональної, структурної, операторної.

На функціональній схемі відбивається технологічний процес в цілому - послідовність операцій та їх взаємозв'язок. Вона не містить інформації про характеристики потоків і окремих елементів.

На структурній схемі зображуються тільки апарати і машини, які використовуються у технологічному процесі у вигляді прямокутників або іншого умовного зображення, де стрілками вказаний напрямок руху матеріальних і енергетичних потоків.

Для більш повної інформації про технологічний процес під час моделювання може бути використана операторна схема, яка є поєднанням функціональної і структурної моделей.

Операторна (функціонально-структурна) модель – графічне представлення перетворень, процесів і операцій з використанням принципу «вхід-вихід». Графічно операторна схема (рис. 4) зображується у вигляді прямокутника, який обмежує систему. Підсистема включає два і більше операторів, що відповідають технологічній операції, а кожний оператор – один і більше процесорів, відповідних певному фізико-хімічному процесу. Лінії між ними – матеріальні, енергетичні, інформаційні потоки – це зв'язки.

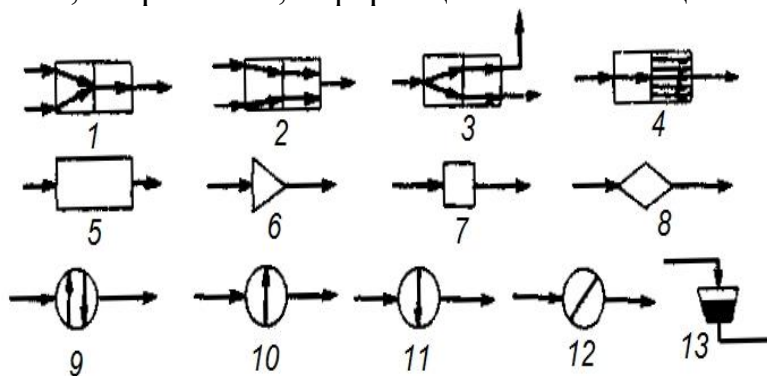


Рис. 4. Умовні позначення процесорів

1 - з'єднання без збереження поверхні розділу (змішування середовищ); 2 - з'єднання із збереженням поверхні розділу; 3 - поділ на фракції; 4 - подрібнення; 5 - складний процес перетворення (комплекс фізичних, хімічних і мікробіологічних процесів); 6 - дозування; 7 - формоутворення; 8 - орієнтування (зокрема, предметів); 9 - термостатування (підтримання постійної температури); 10 - нагрівання; 11 - охолодження; 12 - зміна агрегатного стану; 13 - зберігання.

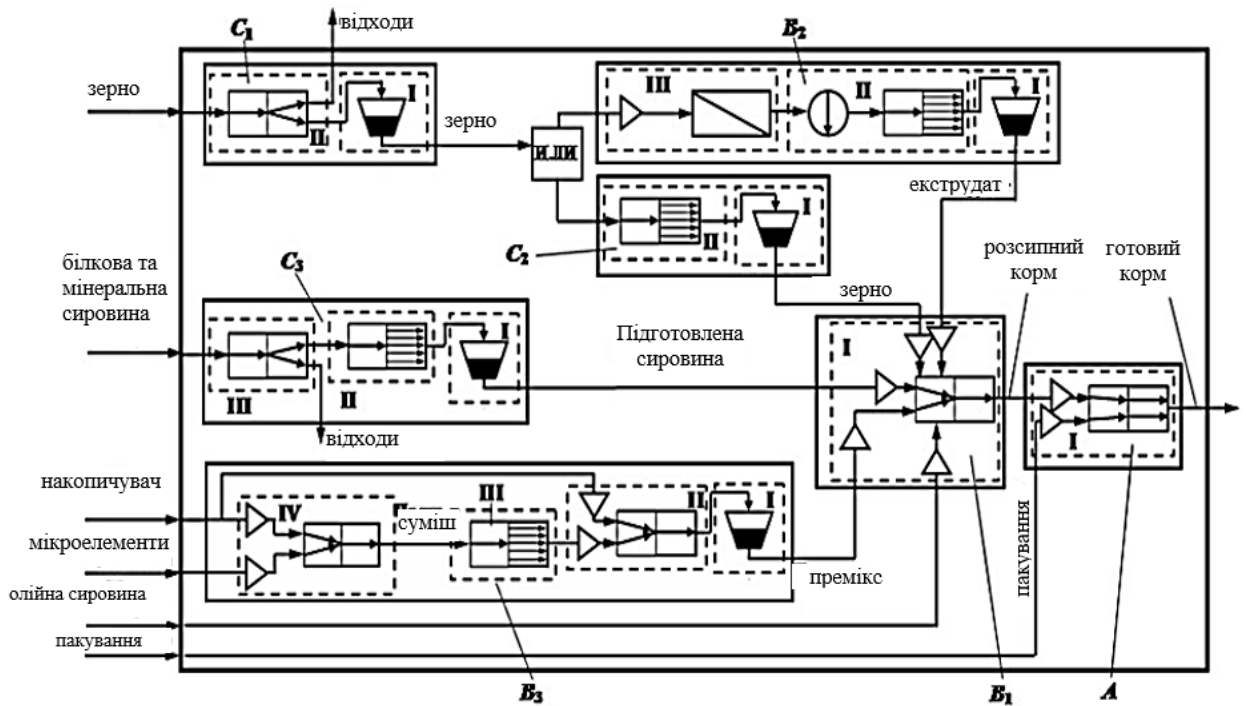


Рис. 5. Операторна модель технологічного процесу виробництва комбікорму:

- A – підсистема отримання готового комбікорму: I – упаковка;
- B1 – підсистема отримання розсипного комбікорму: I – дозування та змішування;
- B2 – підсистема отримання екструдату: I – накопичення, II, IV – охолодження та подрібнення, III – екструдування;
- B3 – підсистема виробництва преміксів: I – накопичення, II – дозування та змішування, III – нормалізація;
- C1 – підсистема підготовки зернових компонентів: I – накопичення, II – очищення;
- C2 – підсистема обробки зернових компонентів: I – накопичення, II – подрібнення;
- C3 – підсистема підготовки білкових і мінеральних компонентів: I – накопичення, II – подрібнення, III – розділення на фракції.

Така модель має низку переваг перед іншими, які виражаються в кількості та якості інформації, що в ній міститься.

ПЕРЕВАГИ ОПЕРАТОРНОЇ СХЕМИ

- відображуються дві принципово різні, але діалектично пов'язані сторони систем: функції, що системою виконуються, і методи, якими ці функції виконуються;
- процеси виробництва здійснюються на обладнанні, яке з часом змінюється, а елементи операторної схеми - постійні. Це дозволяє будувати типові функціонально-структурні моделі.

3. Етапи побудови математичних моделей складних систем

В основі оптимізації технологічних процесів лежить математичне моделювання, яке дає змогу вивчити їх механізм, кінетику і є підґрунтям автоматизації виробництва.

Математичною моделлю реального об'єкту називається таке його відображення, яке дозволяє описати істотні сторони об'єкту мовою математичної логіки і математичних формул. Математична модель дає нову, хоча можливо і не повну інформацію про цей об'єкт.

У математичному моделюванні технологічних процесів харчового виробництва сформувався *теоретичний* і *статистичний* напрямки. Статистичний напрям доцільно використовувати на етапі дослідження в рамках системи або її підсистеми (макродосліджень), а теоретичний - на етапі дослідження в рамках елемента (мікродослідження).

За характером залежностей (табл.1) математичні моделі поділяються на *детерміновані* і *стохастичні (статистичні)*.

Таблиця 1 – Характеристика математичних моделей

Вид математичних моделей	Призначення	Спосіб одержання	Переваги	Недоліки
<i>Детерміновані моделі</i>	Описують фізико-хімічні, біохімічні, мікробіологічні та інші процеси з чітко вираженими залежностями на мікрорівні . Вони мають вигляд диференцій-них рівнянь. Приклад - закон Фіка (закон перенесення маси): $j = -D \frac{dc}{dx}$	Одержують <i>теоретичним (аналітичним)</i> моделюванням	Детерміновані моделі описують процеси у широкому діапазоні значень параметрів	На практиці не завжди дають потрібну точність, оскільки під час їх розроблення приймається ряд припущень
<i>Стохастичні (статистичні) моделі</i>	Використовуються для зображення процесів з випадковими, недостатньо вивченими зв'язками. Вони описують взаємозв'язок між параметрами процесу на макрорівні, не розкриваючи глибинної суті процесів. Мають вигляд поліномів різного ступеня або системи рівнянь.	Одержують шляхом <i>експериментально-статистичного (кібернетичного)</i> моделювання за допомогою <i>активного і пасивного експериментів</i>	Використовуючи статистичні моделі можна оптимізувати процес, не вдаючись до його глибокого вивчення.	Статистичні моделі одержують для кожного окремого об'єкту і перенести їх на інший об'єкт можливо лише після відповідного корегування

Процес побудови математичної моделі об'єкту (системи) можна представити у вигляді послідовності етапів, представлених на рис. 6.

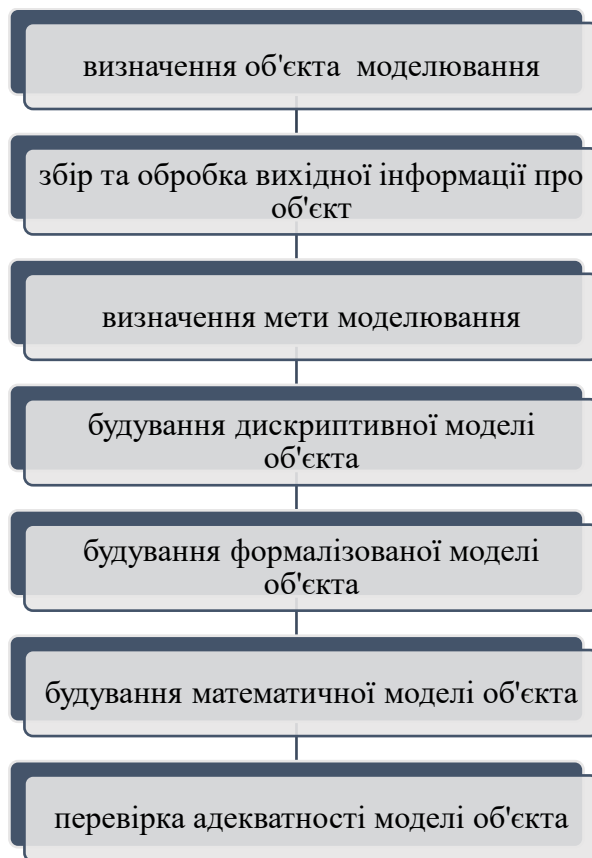


Рис. 6. Етапи будування математичної моделі

Визначення об'єкту моделювання

Питання про те, модель якого об'єкту збирається створювати дослідник (чи аналітик), тільки на перший погляд здається простим. Ця простота і визначеність у виборі об'єкту моделювання часто породжувалася тим, що сам світ, що оточує нас, "підкидав" людині ці об'єкти в готовому виді. Дощ і град, вітер і вогонь, цунамі і тайфуни, землетруси і полярні сніга самі пропонували себе для дослідження. Штучні об'єкти, що породжуються людиною, так само на першому етапі були досить прості з точки зору їх виділення на тлі навколишнього світу: літаки і пароплави, електростанції і металургійні заводи, автомобілі і мости - усе це мало досить чіткі межі і не викликало особливих розбіжностей. У міру ускладнення створюваних систем і глибшого проникнення інтересів дослідника в середу його мешкання структуризація об'єкту дослідження, т. е. виділення його на певному фоновому просторі, ставало усе більш складним завданням. Збільшується невизначеність у визначенні меж об'єкту, його цілей і функцій, його складу і структури, його зв'язків із зовнішнім середовищем/

Для того, щоб виділити об'єкт дослідження, потрібно, по суті, побудувати для нього модель типу "чорна шухляда". Таким чином, побудова математичної моделі розпочинається із загальносистемного моделювання об'єкту.

Збір і обробка початкової інформації про об'єкт моделювання

Виділяються два підетапи.

Перший підетап: дослідник звертає увагу на ту інформацію про об'єкт, яка "лежить на поверхні", тобто відразу ж впадає у вічі.

Наприклад, починаючи вивчати яку-небудь технічну систему (літак, електростанцію, холодильник і т. п.), збирають дані про їх паспортні технічні характеристики (вага, об'єм, вантажопідйомність, швидкість, продуктивність, споживана енергія і т. д.). На першому етапі дослідник повинен взяти під контроль усю можливо доступну інформацію про об'єкт. Проте якщо об'єкт великий і складний, то вже на цьому етапі необхідно збирати інформацію про нього під кутом зору "цілей створення моделі".

Другий підетап збору початкової інформації про об'єкт настає після того, як дослідник досить добре уявив собі об'єкт, що вивчається, його призначення, функції і властивості, склад і структуру. Необхідно задіяти спеціальні організаційні зусилля з пошуку інформації, що цікавить (організація спеціальних спостережень, архівні пошуки, опитування людей і т. п.).

На цьому підетапі дослідник повинен (хоч б в першому наближенні) уявити собі ті похідні показники властивостей якості системи, з якими йому доведеться працювати, і відповідно до цього збирати додаткову інформацію про об'єкт. На цьому ж етапі вирішується питання про первинну обробку інформації про об'єкт, яка потрібна для правильного і раціонального зберігання даних, обміну даними між користувачами і своєчасного їх поповнення.

Визначення мети моделювання

Збір інформації про об'єкт істотним чином залежить від того, що з цими даними збираються робити, навіщо вони потрібні. Щоб відповісти на ці питання, дослідник повинен по можливості досить чітко представляти цілі побудови моделі. Цілі моделювання справляють істотний вплив і на вибір типу моделі або математичного апарату, за допомогою якого формується модель, а також на об'єм, номенклатуру і якість даних.

Цілі моделювання значною мірою визначаються цілями системи, яку моделюють, а вони, у свою чергу, визначаються проблемами, які необхідно вирішити.

Побудова дискриптивної моделі об'єкту

Дискриптивна модель - перша спроба словесного опису самого об'єкту, його підсистем і елементів, процесів, що протікають в ньому, а також деякий погляд на закономірності, що характеризують процеси і явища, що в них

відбувається. Для побудови дискриптивної моделі потрібне ретельне вивчення об'єкту, спостереження за ним і виділення сукупності властивостей об'єкту, які надалі можна параметризувати.

Дискриптивна модель, як правило, складається фахівцями в конкретній області без активної участі математиків (присутність системних аналітиків бажана, особливо, якщо система складна). Проте вона повинна обов'язково містити перелік залежностей, що підлягають оцінці, а також перелік чинників, які мають бути враховані при побудові моделі. У неї включаються початкові дані у вигляді таблиць, графіків, початкових умов, нормативних значень показників і так далі

Побудова математичної моделі об'єкту (ідентифікація моделі)

Формалізована модель - це проміжний етап між дискриптивною і математичною моделлю. Вона реалізується у тому випадку, якщо неможливий безпосередній перехід від дискриптивної моделі до математичної. Як правило, це має місце, якщо система велика і складна.

Формалізована модель може залишатися словесною (вербальною), але вимоги до суворості опису моделі мають бути високими. Це означає, що мають бути чітко визначені усі поняття і терміни

При побудові формалізованої моделі уточнюються показники і параметри об'єкту, визначаються шкали їх виміру і робиться узгодження шкал. В якості характеристик властивостей об'єкту бажано вибирати такі, що:

- забезпечують зручність користування і доступність отримання,
- дозволяють в найбільшому ступеню спростити модель (природно, без втрати якості моделі).

Подальше перетворення формалізованої моделі в математичну модель здійснюється практично без припливу додаткової інформації. Для здійснення цього перетворення необхідно:

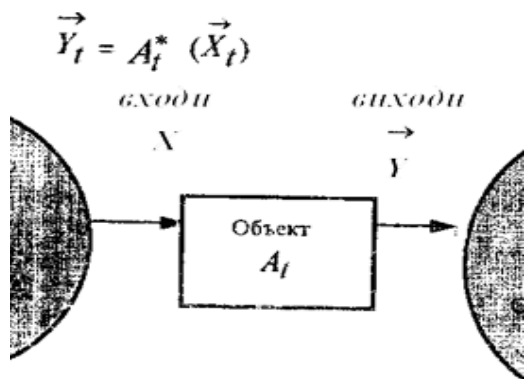
- записати в математичній формі усі співвідношення, які не були записані на попередньому етапі;
- надати аналітичної форми усім відомостям, що містяться у формалізованій моделі (зокрема, логічним умовам, розподілам випадкових величин і іншим числовим даним.) .

Побудова математичної моделі об'єкту (ідентифікація моделі)

Основним методом побудови математичних моделей вважається ідентифікація. Завдання ідентифікації формулюється наступні чином: за результатами спостережень за входами і виходами системи побудувати оптимальну (у сенсі деякого критерію) модель.

При цьому вважається, що система знаходиться в нормальному режимі функціонування, тобто, в обстановці випадкових збурень і перешкод. Якщо об'єкт описується деяким оператором A , що перетворює входи у виходи, то, маючи виміряні значення входу і виходу, необхідно отримати оцінку цього

оператора A , найкращу в сенсі деякого критерію. Ця взаємодія відбувається по каналах X і Y (рис.).



По каналу X середовище впливає на об'єкт, а по каналу Y об'єкт впливає на середовище. Завдання ідентифікації зводиться до оцінки оператора A_t , що зв'язує входи і виходи об'єкту.

Якість ідентифікації об'єкту істотно залежить від співвідношення двох чинників:

- об'єму апіорної інформації про склад і структуру об'єкту;
- об'єму вимірної інформації.

Обидва види інформації потрібні при синтезі моделі, проте роль їх різна.

Апіорні відомості допомагають визначити структуру моделі, тобто, її вид (число входів і виходів, характер зв'язку між ними). Цю процедуру називають *ідентифікацією в широкому сенсі* або *структурною ідентифікацією*. Проте структура моделі ще не сама модель. Для визначення її параметрів необхідно мати в розпорядженні виміри. Завдання виміру (визначення) параметрів моделі за спостереженнями за функціонуванням об'єкту по заданій структурі моделі називають *ідентифікацією у вузькому сенсі* або *параметричною ідентифікацією*.

Перші і прості об'єкти ідентифікації - функції, що зв'язують входи і виходи. Застосовують різні методи математичної статистики:

теорія планування експерименту, яка розглядає активні експерименти з метою підвищення якості ідентифікації.

теорія систем математичного управління. Ця теорія породила спеціальні методи ідентифікації динамічних об'єктів управління в режимі нормальної експлуатації. Саме до цих методів спочатку був застосований термін "ідентифікація".

Оцінка адекватності моделі

Адекватністю називають властивість моделі, що полягає в здатності моделі відтворювати з необхідною повнотою ті властивості якості об'єкту, які істотні для цілей цього дослідження.

Оскільки будь-яка модель є спрощеною копією оригіналу, то не можна говорити про абсолютну адекватність моделі. Оцінка міри схожості може спиратися тільки на оцінку відмінності від оригіналу.

Питання для самоконтролю

1. Які особливості складних систем визначають складність їх моделювання в процесі системного дослідження?
2. Як класифікуються основні типи моделей технологічних систем, і що таке модель "чорного ящика"?

3. Що таке модель "білого ящика", і як вона допомагає в дослідженні складних систем?
4. Які етапи включає структурна організація технологічної лінії, що переробляє різні типи сировини?
5. Охарактеризуйте особливості структурної, функціональної та операторної моделі технологічної системи.

Лекція 4. Алгоритм і методи вирішення задач оптимізації технологічних систем

План лекції

1. Завдання оптимізації технологічних систем
2. Етапи формулювання оптимізаційних завдань
3. Методи рішення завдань оптимізації і розвитку технологічних систем

1. Завдання оптимізації технологічних систем

Основними завданнями, які необхідно вирішувати на підприємствах галузі для збільшення випуску продукції і підвищення ефективності виробництва, є раціональне використання сировини, розширення асортименту виробів, поліпшення їх якості, впровадження прогресивних технологічних схем і технічне переоснащення підприємств. Значної уваги відводиться підвищенню харчової цінності виробів, створенню виробів спеціального призначення. Ці завдання пов'язані з удосконаленням технологічних процесів, оптимізацією основних технологічних параметрів.

Поняття *оптимізація* - це вибір найкращих рішень.

Під час рішення завдань, які обумовлені основними напрямками розвитку області, інженер-технолог стикається з необхідністю вибору оптимального варіанту (рис. 1).

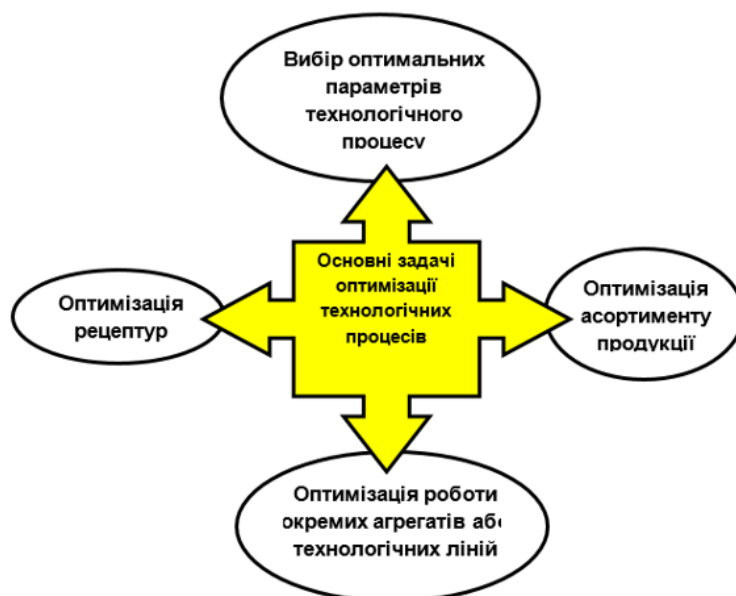


Рис. 1. Основні завдання оптимізації технологічних процесів галузі

Оптимізація технологічних процесів може розглядатися відносно окремої технологічної лінії, агрегату, а також завдань, пов'язаних з маркетинговою діяльністю підприємства.

Оптимізаційні завдання виникають:

- під час виконання науково-дослідної і проєктної роботи;
- у виробничій діяльності фахівця.

У промисловості (при великій кількості нових машин, механізмів і технологічного устаткування) відзначається зростання колосальної номенклатури вироблених виробів - ланцюжок значень параметрів, що називається параметричним рядом.

Оптимізація параметричних рядів - важливе і складне завдання. Вибирають головний параметр виробу, декілька основних і допоміжні. Оптимізація параметричного ряду полягає в знаходженні сукупності продукції з такими значеннями параметрів, при яких задані потреби в продукції задовольняються з найменшими зробленими витратами.

Оптимізація вимог до якості продукції. Під оптимальною якістю продукції розуміють рівень, при якому різниця між економічним ефектом споживача і витратами виробника по поліпшенню якості виробу досягає найбільшої величини

2. Етапи формулювання оптимізаційних завдань

Ефективність рішення оптимізаційних задач в першу чергу залежить від правильності її формулювання. Під час формулювання задачі слід враховувати фізико-хімічні особливості процесу, його економічність, ринкову кон'юнктуру тощо.

Основні етапи процесу оптимізації :

- характеристика об'єкту;
- постановка завдання оптимізації;
- вибір критерію оптимальності, встановлення обмежень і чинників, що оптимізуються, - вибір методу рішення задачі оптимізації;
- знаходження цільової функції (функції оптимальності) і оптимальних значень чинників.

❖ *Вибір критерію оптимальності.*

Для формулювання і рішення задачі оптимізації необхідно визначити конкретний показник, який характеризує ефективність функціонування цієї системи - критерій оптимальності.

Критерій оптимальності (ефективності) - це кількісна міра, яка визначає міру відповідності результатів функціонування системи мети, яке стоїть перед нею.

Критерії оптимізації підрозділяються на:

- глобальні (собівартість або прибуток - універсальні показники ефективності функціонування виробництва);

- локальні (вихід виробів або показники якості - показники ефективності функціонування технологічної лінії або ділянки).

Вимоги до параметра оптимізації (критерій оптимальності) :

- бути контрольованим (вимірюватися при будь-якій допустимій зміні виробничих чинників);
- бути статистично ефективним (вимірюватися з найбільшою точністю, що дозволяє до мінімуму скоротити повторення дослідів);
- бути інформаційним (характеризувати властивості окремих об'єктів або технологічних процесів);
- мати фізичний сенс (має бути можливість досягнення корисного ефекту);
- бути однозначним (відбивати точно одну властивість об'єкту, підмет оптимізації);
- має бути обмежений межами допусків, в яких робиться оптимізація.

❖ Встановлення обмежень.

Обмежувальні чинники - це такі показники процесу, які не повинні виходити за певні межі. Найбільш часте обмеження визначаються кількістю і якістю сировини або готової продукції, умовами технології.

❖ Вибір факторів оптимізації

Факторами оптимізації є чинники, які можна цілеспрямовано змінювати і які впливають на критерій оптимізації.

Вимоги до вибору факторів, що впливають на параметр оптимізації :

- бути керованими (дозволяти експериментаторові встановлювати необхідне значення чинника і підтримувати його постійним впродовж досвіду);
- повинна виконуватися умова сумісності груп чинників (будь-який набір їх допустимих значень може бути реалізований практично);
- бути незалежними (повинна існувати можливість встановлення будь-якого чинника на довільному рівні в допустимому інтервалі незалежно від рівнів інших чинників);
- бути визначуваними післяопераційно (повинна визначатися послідовність операцій, за допомогою яких встановлюються значення чинників);
- має бути максимальною точність встановлення граничних значень чинників (відхилення дійсного значення чинника від заданого номінального значення не повинне перевищувати погрішності приладу).

❖ Знаходження цільової функції і оптимальних значень чинників

Залежність критерію оптимальності від визначальних чинників називається функцією оптимальності (цільовою функцією).

Математично цільова функція записується наступним чином:

$$Y=f(x_i),$$

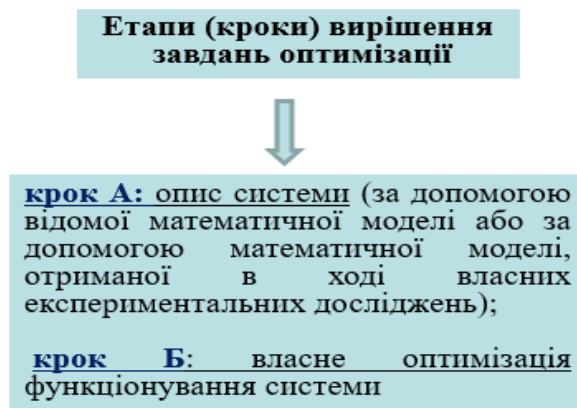
де Y - критерій оптимальності; x_i - чинники оптимізації.

Математичне завдання оптимізації формулюється як завдання відшукування екстремуму функції.

Значення чинників оптимізації, за яких цільова функція досягає екстремуму, називаються оптимальними.

3. Методи рішення завдань оптимізації і розвитку технологічних систем

Для вирішення завдань оптимізації (шляхом реалізації аналітичного або експериментального підходу) необхідно виконати два основні кроки:



Методи вирішення задач оптимізації поділяються на аналітичні та експериментальні (рис. 2).



Рис. 2. Методи вирішення задач оптимізації

Технологічні процеси харчових виробництв (в т.ч. борошномельно-круп'яною і комбикормовою галузєй) стохастичні і недостатньо вивчені. Тому для їх опису і оптимізації найчастіше застосовують експериментальні дослідження.

КРОК «А»

Планування експериментів

Плановані експерименти можна розділити на:

- що відсівають, призначені для ранжирування чинників;
- екстремальні, дозволяючи окрім апроксимації функції відгуку (побудови емпіричної залежності) попутно вирішувати важливіші завдання (пошук екстремуму - мінімуму або максимуму) в P -мірному просторі і завдання оптимального управління процесами;
- методи планування експериментів для дисперсійного аналізу;
- методи планування експериментів для спеціальних випадків (вивчення діаграм склад-властивість та ін.)

Планування екстремальних експериментів - це метод вибору кількості і умов проведення дослідів, мінімально необхідних для вирішення завдання (для відшукування оптимальних умов). Планують як однофакторні, так багатфакторні експерименти. Вибирають інтервал варіювання : вузький (не більше 10% від області визначення), середній (не більше 30%) /найчастіше/ і широкий (більше 30%).

Повний факторний експеримент має велику кількість дослідів (яке перевершує число визначуваних коефіцієнтів лінійної моделі). Тому експеримент з числом дослідів, що представляє частину від ПФЕ, називається дробним факторним експериментом.

Обробка отриманих експериментальних даних

Під час проведення експериментальних досліджень можуть вирішуватися наступні завдання:

=> виявлення якісно-кількісних закономірностей, що встановлюють співвідношення між змінними, які описують об'єкт дослідження в статистичному (що встановився) режимі;

=> знаходження значень змінних, що забезпечують оптимальний за певним критерієм що встановилася режим функціонування об'єкту.

Для вирішення поставлених завдань розроблені різноманітні методи обробки результатів досліджень.



Метод найменших квадратів.

Метод найменших квадратів застосовується при апроксимації отриманих експериментальних залежностей (y_i, x_i) .

Суть методу : сума квадратів відхилень експериментальних точок від згладжуючої кривої прагне до мінімуму:

$$\sum_{i=1}^N [y_i - \varphi(x_i)]^2 = \min$$

де: y_i і x_i - експериментальні значення в i - м досліді;
 N - число дослідів;
 $\varphi(X)$ - шукана залежність Y від X .

При виборі виду залежності $Y = f(X)$ можливі наступні випадки:

1. Загальний вигляд залежності $Y = f(X)$ відомий заздалегідь на підставі теоретичних передумов. Завдання полягає в знаходженні чисельних значень параметрів цієї залежності.

2. Залежність $Y = \varphi(X)$ априорі невідома, і немає ніяких припущень про її математичну форму. В цьому випадку для емпіричного опису досліджуваної закономірності в області її існування, обмеженій межами зміни аргументу, дуже зручно застосувати поліном алгебри певної міри (ряд Тейлора).

Для визначення параметрів залежності $Y = \varphi(X)$ її необхідно представити як функцію не лише аргументу X , але і параметрів $a_j, j = \bar{0}, s$. Тоді ця умова записується як

$$\sum_{i=1}^N [x_i - \varphi(x_i, a_0, a_1, \dots, a_j, \dots, a_s)]^2 = \min \quad (2)$$

Знаходження значень параметрів, які задовольняють цій умові, зводиться до знаходження екстремуму функції багатьох змінних a_j . Для цього необхідно узяти похідні за параметрами від вираження і прирівняти їх до нуля, отримавши систему $s+1$ рівнянь :

$$\sum_{i=1}^N [x_i - \varphi(x_i, a_0, a_1, \dots, a_j, \dots, a_s)] \frac{\partial \varphi}{\partial a_j} = 0, j = \bar{0}, s \quad (3)$$

Рішення яких дає можливість отримати параметри a_j .

Наприклад при апроксимації шуканої залежності поліномом s - порядку вказана система рівнянь матиме вигляд :

$$\begin{aligned} a_0 \sum_i x_i^0 + a_1 \sum_i x_i^1 + a_2 \sum_i x_i^2 + \dots + a_s \sum_i x_i^s &= \sum_i x_i^0 y_i ; \\ a_0 \sum_i x_i^1 + a_1 \sum_i x_i^2 + a_2 \sum_i x_i^3 + \dots + a_s \sum_i x_i^{s+1} &= \sum_i x_i^1 y_i ; \\ \dots & \\ a_0 \sum_i x_i^s + a_1 \sum_i x_i^{s+1} + a_2 \sum_i x_i^{s+2} + \dots + a_s \sum_i x_i^{2s} &= \sum_i x_i^s y_i . \end{aligned} \quad (4)$$

Кореляційний аналіз.

Якщо необхідно оцінити тісноту залежності величини (y) від однієї або не кількох інших випадкових величин те використовують **кореляційний аналіз**.

Якщо статистична залежність проявляється в тому, що при зміні однієї з величин змінюється середнє значення іншої, то вона називається **кореляційною** (від лат.- взаємозв'язок, взаємозалежність).

Для лінійного зв'язку коефіцієнт кореляції знаходять за формулою:

$$r_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{Y})}{\left[\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^{i=n} (Y_i - \bar{Y})^2 \right]^{1/2}} \cdot \quad r_{yx} = \frac{k_{yx}}{\sigma_x \sigma_y}$$

$$k_{yx} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - m_i) - (\bar{x}_i - m_x)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{x}_i - m_x)^2}$$

k_{yx} - кореляційний момент випадкової величини X и Y.

$$m_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$r_{yx} = \pm 1$ свідчить про наявність лінійної кореляції між y і x .

Якщо $r_{yx} = 0$ лінійний зв'язок між величинами y і x - відсутній. Чим ближче величина r_{yx} по абсолютному значенню до одиниці, тим цей зв'язок тісніший. Якщо $r_{yx} = 0$, то між y і x немає прямолінійного кореляційного зв'язку, але криволінійна можлива;

Слід зазначити, що наявність кореляційного зв'язку не припускає обов'язкової причинно-наслідкової залежності однієї величини від іншої. Може виявитися, що обидві величини залежать від яких-небудь третіх чинників.

При визначенні тісноти нелінійного зв'язку між випадковими величинами X і Y вводиться нова характеристика, що називається **кореляційним відношенням**, під яким розуміють відношення міжгрупового середнього квадратичного відхилення до загального середнього квадратичного відхилення σ_y випадкової величини Y.

$$\eta_{yx} = \sigma_{y_i} / \sigma_y$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^m N_{yj} (y_j - m_y)}$$

$$\sigma_{yi} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^m (m_{yi} - m_y)^2 N_{xi}}$$

Якщо $\eta_{yx} = 0$, то величини X і Y кореляційною залежністю не пов'язані.

Якщо $\eta_{yx} = 1$, отже, величини X і Y пов'язані функціональною залежністю. Якщо досліджується зв'язок між декількома випадковими величинами, то кореляцію називають **множинною**.

У простому випадку число випадкових величин рівне трьом і пов'язані вони лінійною залежністю:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

Тіснота зв'язку випадкової величини Y з величинами X_1 і X_2 оцінюється сукупним коефіцієнтом кореляції R , що визначається за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{r_{x_1, y}^2 - 2r_{x_1, x_2} r_{x_1, y} r_{x_2, y} + r_{x_2, y}^2}{1 - r_{x_1, x_2}^2}},$$

якщо виконується нерівність $0 \leq R \leq 1$; при $R = 0$ - зв'язок відсутній.

де $r_{x_1, y}$ $r_{x_2, y}$ - частковий коефіцієнти кореляції:

$$r_{x_1, y} \Big|_{x_2 = \text{const}} = \frac{r_{x_1, y} - r_{x_1, x_2} r_{x_2, y}}{\sqrt{(1 - r_{x_1, x_2}^2)(1 - r_{x_2, y}^2)}},$$

$$r_{x_2, y} \Big|_{x_1 = \text{const}} = \frac{r_{x_2, y} - r_{x_1, x_2} r_{x_1, y}}{\sqrt{(1 - r_{x_1, x_2}^2)(1 - r_{x_1, y}^2)}}.$$

Частковий коефіцієнти мають ті ж властивості і той же сенс, що і звичайні коефіцієнти кореляції (тобто служать для оцінки лінійному зв'язку між випадковими величинами)

Дисперсійний аналіз.

Якщо необхідно встановити, чи робить істотний вплив деякий чинник X на досліджувану величину Y , використовують *дисперсійний аналіз*.

Основна ідея цього методу полягає в порівнянні факторної дисперсії, що породжується дією чинника X , і залишкової дисперсії, обумовленої випадковими причинами.

Якщо відмінність між цими дисперсіями значуща, то чинник X істотно впливає на Y , і в цьому випадку середні значення Y , що спостерігаються за різних значень X , відрізняються також значуще.

Основна гіпотеза (нульова) - рівність декількох групових середніх (середнє значення величини в i - тому досвіді) сукупностей з невідомими, але однаковими дисперсіями.

Розраховують:

1. Загальну суму квадратів відхилень величини Y від загальної середньої

$$s_y = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y})^2.$$

(Характеризує розсіяння усіх (mN) досвідчених значень величини Y навкруги середнього цієї величини \bar{y} .)

2. Факторну суму квадратів відхилень середніх значень Y в кожному досвіді (\bar{y}_i) від загальної середньої \bar{y} .

$$S_{y\phi} = m \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

(Характеризує розсіяння групових середніх усіх N дослідів (міжгрупове розсіяння)).

3. Залишкову суму квадратів відхилень величини Y від її середнього значення в кожному досвіді:

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

(Характеризує розсіяння величини Y від її середнього значення в кожному досвіді)

Загальну, факторну і залишкову дисперсії знаходять як відношення суми квадратів відхилень на число ступенів свободи :

$$D_y = \frac{S_y}{Nm-1} ; D_{y\phi} = \frac{S_{y\phi}}{N-1} ; D_{y0} = \frac{S_{y0}}{N(m-1)}$$

Якщо нульова гіпотеза вірна то $D_{y\phi}$ і D_{y0} розрізняються не значимо; якщо ні, то відмінності значущі. Оцінка значущості відмінності дисперсій здійснюється за допомогою критерію *Фишера* (F- критерію):

$$F = \frac{D_{y\phi}}{D_{y_0}}$$

Значення F , розраховане за даними експерименту, порівнюється з табличним і при виконанні нерівності $F < F_T$ нульова гіпотеза не відкидається.

Регресійний аналіз результатів апроксимації статичних залежностей

Метод найменших квадратів, що дозволяє визначити параметри апроксимуючої залежності, наприклад $Y = f(X)$, що зв'язує що цікавлять нас змінні об'єкту дослідження, стає регресійним аналізом як тільки переходять до статистичних оцінок.

Основні статистичні оцінки:

- ✓ оцінка дисперсії відтворюваності;
- ✓ оцінка адекватності;
- ✓ оцінка значущості коефіцієнтів рівняння регресії.

Оцінка дисперсії відтворюваності (похибка дослід) визначається на підставі цих паралельних дослідів і характеризує рівноточність вимірів в усіх дослідях.

Нульова гіпотеза полягає в тому, що дисперсії в усіх дослідях рівні між собою (тобто перевірка, значимо або незначимо відрізняються оцінки дисперсії в кожному досвіді, може бути зроблена за допомогою F -критерію шляхом порівняння найбільшої і найменшої дисперсії. Якщо відмінність між ними незначуща, то незначуща відмінність між іншими дисперсіями. Недоліком цього методу є використання інформації тільки про екстремальні значення дисперсій без урахування інформації, яку містять усі інші дисперсії).

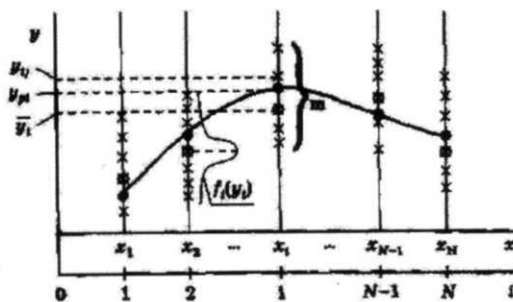


Рис. 3. Графічна інтерпретація результатів експериментів

Тому прийнятніше використання *критерію Кохрена*, який є відношенням максимальної дисперсії D_m до суми усіх дисперсій в N точках :

$$G = D_{y \max} / \sum_{i=1}^N D_{y_i}$$

$$D_{y_i} = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2; \quad \bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_{ij}$$

де m - число паралельних вимірів в i - му досвіді, N - число дослідів.

Вчислене значення критерію Кохрена G при прийнятому рівні значущості α (найчастіше $\alpha = 0,05$) порівнюється з табличними G_{α} , яке є функцією числа ступенів свободи $m-1$ і N .

Якщо $G < G_{\alpha}$ то гіпотеза про рівноточності не відкидається. Тоді похибка досвіду, що оцінюється середньою квадратичною похибкою при визначенні середнього значення y_i .

$$\sigma_{\bar{y}_0}^2 = D_{\bar{y}_0} = \frac{1}{mN} \sum_{i=1}^N D_{y_i}$$

де $mN = n$ – загальна кількість вимірів.

Оцінка адекватності апроксимуючої залежності досліджуваному об'єкту зазвичай робиться за допомогою **критерію Фишера**, який в даному випадку визначається як відношення дисперсії адекватності D_{y_a} до дисперсії D_{y_0} .

$$F = D_{y_a} / D_{y_0}$$

Дисперсія адекватності, що характеризує розсіювання даних експерименту \bar{y}_i , навколо апроксимуючої залежності, визначається за формулою:

$$D_{y_a} = \frac{1}{N-s} \sum_{i=1}^N (y_{pi} - \bar{y}_i)^2$$

де s - число параметрів апроксимуючої залежності, визначених по методу найменших квадратів;

y_{pi} - розрахункове значення функції в i - й точці при апроксимації її залежністю виду $Y = f(X)$.

Отримане значення порівнюється з табличним $F_T = f[N - s; N(m - 1)]$. Якщо $F < F_T$ те гіпотеза про адекватність залежності $Y = f(X)$ досліджуваному об'єкту не відкидається.

Оцінка значущості коефіцієнтів (відмінність їх від нуля) проводиться окремо для кожного коефіцієнта a_y за допомогою критерію Стьюдента:

$$t_i = \frac{|a_i|}{\sigma_{a_i}}$$

де $\sigma_{a_i} = \sqrt{D_{a_i} - D_{a_i}}$ дисперсія коефіцієнта регресії a_i

Якщо $t_i < t_T$ коефіцієнт a_i вважається незначимим (т.е. можна прийняти $a_i = 0$) і відповідний доданок виключається з рівняння регресії.

КРОК «Б»

❖ **Метод Гаусса—Зайделя** (покоординатного сходження (спуску)), полягає в послідовному просуванні до екстремуму шляхом почергового варіювання кожного чинника до тих пір, поки не буде досягнутий екстремум.

Характерна особливість методу — необхідність стабілізації усіх факторів, крім того, що варіює.

Ідея методу :

1. Усіма чинниками варіюють по черзі
2. Кожен чинник по черзі змінюється у бік збільшення (чи зменшення) рівня відгуку до досягнення приватного екстремуму його поверхні.
3. Після закінчення варіювання чинника, повертаються до варіювання першого чинника.
4. Досягнення точки, рух з якої у будь-якому напрямі буде невдалим, служить критерієм для припинення пошуку.
5. Досягнута точка приймається як оцінка точки екстремуму з точністю до величини прийнятого кроку варіювання по кожному чиннику.

Переваги методу : наочність і простота стратегії, висока заводо захищеність.

Недоліки методу :

- ✓ неефективність;
- ✓ якщо поверхня відгуку має складну форму, то метод може дати неправдивий результат, тривалий шлях руху до екстремуму;
- ✓ ефективність пошуку різко знижується із зростанням числа чинників.

❖ **Випадкова стратегія пошуку** екстремуму ґрунтується на алгоритмах, в яких порядок обчислення приватних похідних випадковий.

До випадкових методів пошуку можна віднести алгоритм перебору усіх можливих значень чинників (метод сканування), коли кожне подальше положення робочої точки вибирається випадково. Усі положення, в яких система вже побувала, виключаються з розгляду, і запам'ятовуються тільки чинники, що відповідають найкращому значенню показника якості.

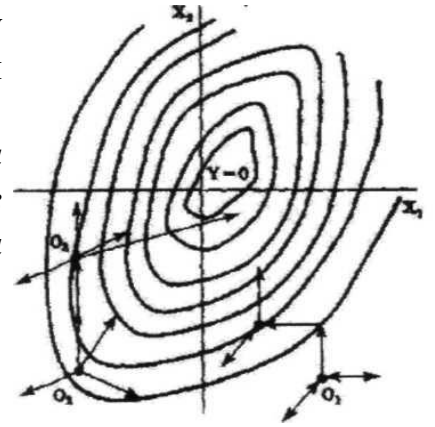


Рисунок 4. Пошук екстремуму функції відгуку випадковими методами

Ідея методу :

1. Пряма, за якою здійснюється рух у факторному просторі, обирається випадковим чином.
2. Напрямок руху уздовж обраної прямої визначається напрямом на шуканий екстремум.
3. Критерієм припинення процедури пошуку області оптимуму є рівність частоти неспівпадиння напрямів пробних і робочих кроків заздалегідь заданому значенню на певному числі етапів.

Переваги методу : простота стратегії.

Недоліки методу : мала ефективність в швидкості виходу до області оптимуму.

❖ **Багатофакторний метод симплекс-планування.**

Найбільш ефективний метод! Він дозволяє послідовно визначити напрям руху і пов'язаний з простими розрахунками при покроковому русі до області оптимуму.

Симплекс - простий опуклий багатогранник в n -мірному просторі. Правильним n -мірним (регулярним) симплексом називається опуклий n -мірний багатогранник, у якого всі вершини знаходяться на однаковій відстані від центру, а довжина усіх ребер однакова.

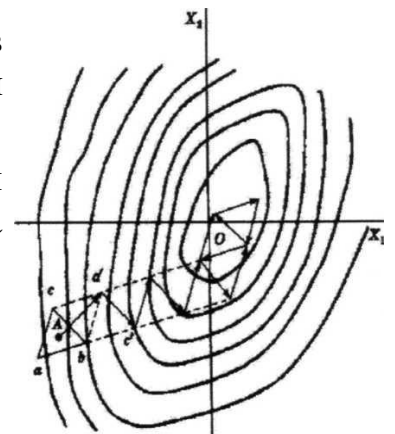


Рисунок 5. Пошук екстремуму функції відгуку симплекс-методом

Ідея методу :

Полягає в уявленні локальної ділянки поверхні по відносних значеннях відгуку у факторному просторі поблизу точки робочого режиму. Порівнюючи значення відгуку в цих точках, можна серед них обрати найгіршу і найкращу і таким чином визначити переважний напрям бажаного зміщення робочої точки до оптимуму.

Після реалізації вибраного зміщення процедура знову повторюється і так триває до досягнення області оптимуму.

Переваги методу:

1. Висока ефективність (кількість кроків в одиницю часу, віднесене до числа варійованих чинників)
2. Необхідні обчислення у край прості і не вимагають статистичного аналізу.
3. Відгуки можуть бути якісними (напрямок руху до оптимуму визначається не точними кількісними значеннями відгуку у вершинах симплексу, а лише співвідношеннями між ними).
4. Оптимізація об'єкту при обмеженнях робиться порівняно просто.
5. Програму дослідження на будь-якому кроці пошуку можна доповнити ще одним новим варійованим чинником, перетворюючи мірний симплекс в +1 мірний симплекс.
6. При виборі розмірів симплексу не слід прагнути до адекватного представлення поверхонь відгуку в області симплексу, оскільки використовується не параметричний опис поверхні.
7. Висока перешкодозахисність методу.

Недоліки.

1. Перевага віддається кількісним варійованим чинникам на шкоду якісним.
2. Не передбачена можливість коригування розмірів симплексу в процесі пошуку.
3. Помилка зростає при наближенні до області екстремуму. Недоцільно шукати точну оцінку екстремуму пологої поверхні відгуку.
4. Дає дуже малу інформацію про поверхню відгуку, оскільки використовується непараметрична процедура (поєднання чинників)

❖ ***Гradientні методи пошуку екстремуму.*** (Метод градієнта, модифікований метод градієнта, метод Кифера - Вольфовица, метод крутого сходження):

$$\text{grad } Y = \bar{i}_1 \frac{\partial Y}{\partial X_1} + \bar{i}_2 \frac{\partial Y}{\partial X_2} + \dots + \bar{i}_n \frac{\partial Y}{\partial X_n} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

де \bar{i} — одиничні вектори в k -мірному просторі.

Координати градієнта співпадають з коефіцієнтами $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$

Ідея методів градієнта :

1. Рух до області оптимуму здійснюється по градієнту функції відгуку.
2. Критерієм припинення процедури пошуку області оптимуму є статистична незначущість відмінності від нуля оцінки вектору градієнту.

✓ **Метод градієнта:** рух до екстремуму робиться у напрямі вектору градієнта.

Послідовність операцій :

1. Визначається початкова точка руху до оптимуму X_0 . (У реальних умовах вона зазвичай відповідає найкращому з відомих робочих режимів об'єкту).

2. Задається крок варіювання по кожному чиннику ΔX .

3. У початковій точці реалізується пробний експеримент, щоб визначити напрям робочого кроку. (Для отримання оцінок можна скористатися будь-яким з відомих способів експериментального отримання оцінки мат моделі об'єкту. Найкраще підходить ПФЕ 2ⁿ).

4. Задається параметр робочого кроку λ . (Параметр слід вибрати таким, щоб робочий крок не відводив за межі області оптимуму, і щоб не був занадто маленьким).

5. Здійснюється один крок руху у вибраному напрямі. Розмірні координати точки визначають по формулі

$$x_{i1} = x_{i0} + \lambda b_i \Delta x_i \text{ для } i=1 \dots n.$$

Точка X_1 є початковою для наступного етапу робочого руху, і в ній описані вище процедури повторюються. Причому крок варіювання і параметр робочого кроку залишаються постійними. Процедура припиняється тоді, коли усі оцінки $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ стають статистично незначущими.

Переваги: при використанні методу градієнта довжина траєкторії істотно менша, ніж для методу Гаусса-Зайделя.

Недоліки: необхідність безперервно визначати градієнт робить цей метод малоефективним.

❖ **Метод крутого сходження (найшвидшого спуску) Бокса-Уілсона.**

Об'єднує елементи викладених вище *методів градієнта і Гаусса-Зайделя*. В ньому ПФЕ відіграє роль пробних дослідів, за результатами яких розраховуються компоненти градієнта. Рух до області оптимуму відбувається за напрямом градієнта.

Схема оптимізації методом крутого сходження:

1. Обирається початкова точка X_0 , що відповідає найкращому з відомих робочих режимів об'єкту.

2. Задається крок варіювання по кожному чиннику ΔX .

3. З центром в початковій точці складається ПФЕ 2ⁿ для визначення вектору градієнта. Результати піддаються статистичному аналізу, що включають:

- ✓ перевірку відтворюваності експерименту;
- ✓ розрахунок і перевірку значущості оцінок коефіцієнтів регресії;
- ✓ перевірку адекватності мат моделі і функції відгуку.

4. Обчислюються кроки $\beta_i \Delta X_i$, і чинник для якого цей крок максимальний, береться за базовий.
5. Для базового фактора вибирають крок крутого сходження $\lambda b_{\bar{\sigma}} \Delta X_{\bar{\sigma}}$.
6. Визначаються кроки крутого сходження по інших чинниках.

$$\lambda_{\text{кр.в.}} = \frac{b_f \Delta X_f}{|b_{\bar{\sigma}} \Delta X_{\bar{\sigma}}|} |\lambda_{\text{кр.в.}}|$$

7. Здійснюється робочий рух.

8. Пошук припиняється, коли оцінки коефіцієнтів регресії виходять статистично незначимими. Це свідчить про досягнення області оптимуму. Ознакою досягнення екстремуму на робочому напрямі є зниження значення відгуку після деякої точки.

Метод найчастіше використовується. Простий, економічний в сенсі необхідного числа дослідів, не вимагає безперервного визначення величини і напряму градієнта функції відгуку.

Питання для самоконтролю

1. Що таке оптимізація технологічних процесів і які основні завдання стоять перед фахівцем для підвищення ефективності виробництва?
2. Які етапи включає формулювання оптимізаційної задачі і які фактори важливо враховувати при виборі критерію оптимальності?
3. Чим відрізняються аналітичні та експериментальні методи вирішення задач оптимізації і коли кожен з них є доцільним?
4. Які вимоги до параметра оптимізації необхідно враховувати для досягнення найбільш точного та ефективного результату?
5. Як метод найменших квадратів використовується для обробки експериментальних даних, і як кореляційний аналіз допомагає оцінити залежності між змінними?

Змістовний модуль 2. Вирішення оптимізаційних задач галузі. Апробація результатів досліджень

Лекція 5. Оптимізація технологічних процесів: круп'яне виробництво

План лекції

1. Особливості моделювання технологічних систем галузі
2. Структурний аналіз і оптимізація технологічних процесів виробництва крупів

1. Особливості моделювання технологічних систем галузі

Для технологічних систем виробництва борошняних продуктів, крупів і комбікормів характерні складний склад, недостатня вивченість механізмів перетворень під час переробки сировини і напівфабрикатів в готові вироби, високі вимоги до якості готової продукції.

Складний склад і структура сировини визначають складну побудову технологічного процесу під час її переробки. Дослідження і аналіз складного технологічного процесу можна здійснити методами аналізу і синтезу систем.

Уніфікація і типізація технологічних систем дозволили встановити єдність в структурній побудові незалежно від деяких відмінностей в технології і машинно-апаратному оформленні. Це забезпечує проведення аналізу різноманітних технологічних систем єдиними методами. Аналіз функціонуючих або проєктованих технологічних систем доцільно проводити в два етапи:

1) якісна характеристика системи, яка ґрунтується на логічних узагальненнях і переосмисленні раніше накопиченого матеріалу. Встановлення класу і структури системи дозволяє визначити тенденцію її вдосконалення і розвитку. Фіксуються параметри, що характеризують якість функціонування технологічної системи, сировини і готової продукції;

2) кількісна характеристика системи ґрунтована на кількісній оцінці вхідних і вихідних потоків на різних рівнях і стадіях, визначенні кількості чинників, що діють на систему, і їх значущості. Після осмислення результатів системного аналізу слід приступити до основного завдання системного дослідження - моделювання технологічної системи з метою її оптимізації.

Для більш повної інформації про технологічний процес під час моделювання може бути використана операторна схема, яка є поєднанням функціональної і структурної моделей (рис. 1).

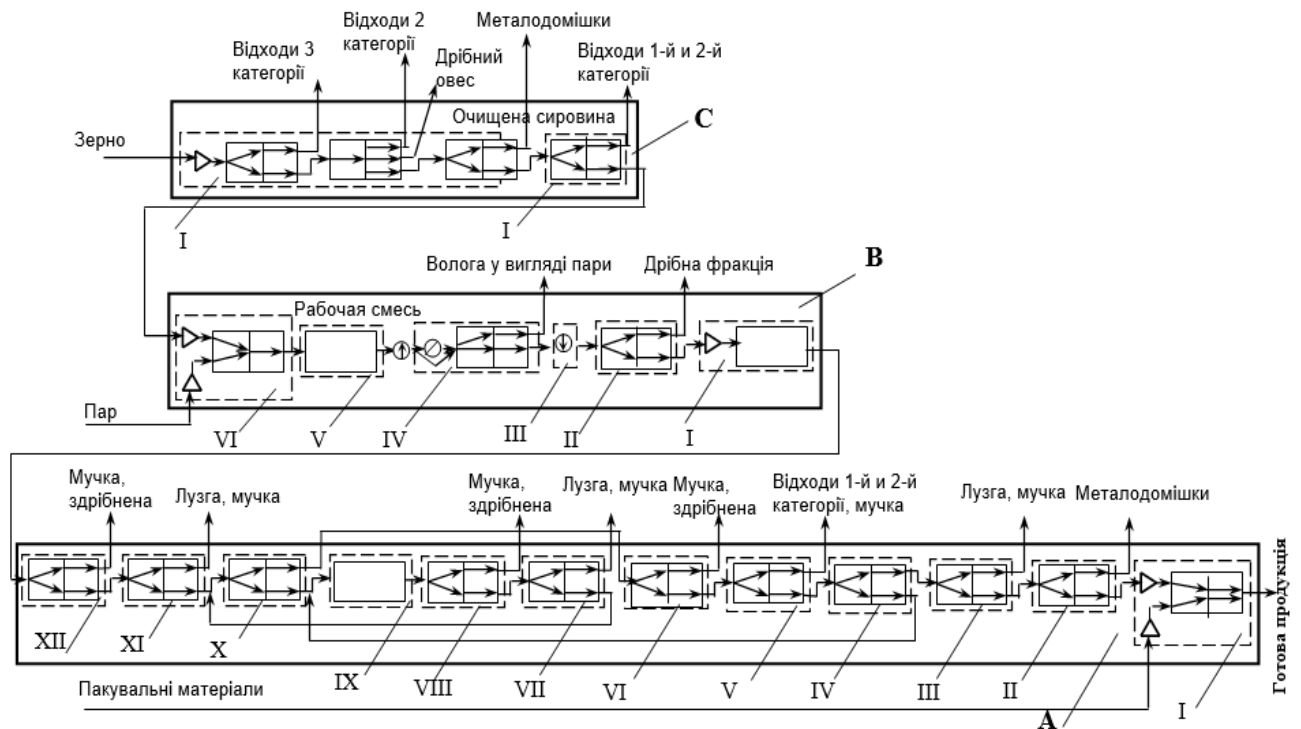


Рис. 1. Операторна модель технологічної системи виробництва вівсяної крупи

А - підсистема утворення продукту із стандартними показниками якості, що має оператори: I - упаковка крупи, II - магнітного захисту, III - відділення легких домішок, IV - відділення нелущених зерен, V - відділення відходів і мучки, VI - шліфування ядра, VII - відділення легких домішок, VIII - розділення продуктів лушення, IX - вторинне лушення, X - круповідділення, XI - відділення легких домішок, XII - розділення продуктів лушення; В - підсистема утворення з сировини робочої суміші із заданими показниками якості, що має оператори: I - первинного лушення, II - фракціонування, III - охолодження, IV - сушки, V - відволожування, VI - пропарювання; С - підсистема утворення проміжного продукту із заданими показниками якості, що має оператори: I - виділення домішок по довжині, II - виділення смітної домішки, металодомішки і дрібного вівса

2. Структурний аналіз і оптимізація технологічних процесів виробництва крупів

Для операцій приймання сировини і сепарації значущими чинниками і критеріями ефективності є ті ж, що і при виробництві борошна.

Гідротермічна обробка зерна включає його пропарювання, сушку і охолодження. Ефективність процесу гідротермічної обробки зерна визначають, головним чином, тиском пари і тривалістю пропарювання.

Проведення гідротермічної обробки забезпечує наступне:

- знижує випуск крупи із заздалегідь встановленою вологістю (відомо, що вологість зерна перед пропарюванням менше впливає на ефективність лушення, чим вологість зерна перед лушенням);
- підвищує коефіцієнт лушення (за рахунок підвищення крихкості оболонки);
- дроблення ядра і збільшує вихід крупи, тобто і продуктивність крупозаводів. Наприклад, вихід ячмінної, кукурудзяної крупи зростає на 7...8 %, гречаної - на 8...10 %;
- зменшує оборот продукту в процесі переробки;
- підвищує споживчі властивості крупи (зростає її розварюваність, знижується тривалість варіння, покращується засвоюваність білків і вуглеводів).

Значущим вихідним параметром є кінцева вологість зерна (як правило, не більше 13,5%), яка визначає надалі результати лушення. Достатня міцність ендосперму забезпечує високий вихід цілого ядра при лушенні, а здатність оболонок до легкого відділення від ядра – мінімальна кількість зерен, що залишилися нелущеними.

Сортування зерна на фракції перед лушенням підвищує ефективність роботи луцильних машин. Сортування зерна по розмірах найбільше значення має при обрушенні зерна на машинах з жорсткими робітниками поверхнями. Так, якщо встановлений проміжок для лушення великого зерна, то дрібніше залишиться нелущеним; якщо навпаки – дробитиметься ядро зерна великої фракції. Отже, переробка несортованого зерна знижує вихід і погіршує якість крупи.

При відповідному підборі розміру отворів сит в сортувальній машині зерно розділяють на задане число фракцій; при цьому допускається зміст зерна суміжних фракцій (наприклад, для гречки) не більше : у великій фракції – 8...10 %, в середній – 10...12 % і в дрібній – 12...15 %.

Основне завдання **обрушення** (лушення) зерна - максимально зруйнувати зовнішні покриви зернівки робочими органами машини, намагаючись при цьому зберегти цілим ядро. Напруга, що випробовується зернівкою, не повинна перевершувати межу пружності ядра, інакше воно дробитиметься. Залежно від розміру зерна встановлюють режим лушення, тобто підбирають проміжок між декою і вальцем. На процес впливають і інші

режими роботи устаткування, а саме: число обертів вальця, рівномірність подання зерна в машину і вихід з неї (без утворення завалів).

Сумарну ефективність лушення E (%) визначають за формулою:

$$E = K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{ц.я.}}, \quad (1)$$

де: $K_{\text{ш}}$ - коефіцієнт лушення, %;

$K_{\text{ц.я.}}$ - коефіцієнт цільності ядра

Коефіцієнт лушення K (%) розраховують за формулою:

$$K = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100, \quad (2)$$

де: H_1 - вміст нелущених зерен в зерні, що поступає на лушення, %;

H_2 - вміст нелущених зерен в продуктах лушення, %

Коефіцієнт цілісності ядра обчислюють за формулою:

$$K_{\text{ц.я.}} = \frac{K_2 - K_1}{(K_2 - K_1) + (d_2 - d_1) + (m_2 - m_1)}, \quad (3)$$

де: K_1 и K_2 - вміст ядра в продукті відповідно до і після лушення, %;

d_1 и d_2 - вміст подрібненого ядра до і після лушення, %;

m_1 и m_2 - вміст мучки в продукті відповідно до і після лушення, %.

В результаті лушення отримують суміш з лущених і нелущених зерен. Ефективність проведення операції сортування продуктів (інакше кажучи, круповідділення) визначається:

- розмірами часток і їх співвідношенням;
- питомим навантаженням на сито;
- геометричними параметрами машини (розмірами і формою отвору сит);
- кінематичними параметрами устаткування (кутом нахилу сит, частотою їх коливання та ін.).

Вміст лущених зерен K (%) в усій суміші визначають за формулою:

$$K = \frac{ac}{10}, \quad (4)$$

де: а - кількість лущених зерен в 10 г наважки, г;

с - загальна кількість суміші лущених і нелущених зерен (%) до кожного зразка;

$$H = 100 - K, \quad (5)$$

де Н - вміст нелущених зерен, %.

У тих випадках, коли проводять операції шліфування і полірування, ефективність цих процесів залежить від виду устаткування і режимів його роботи.

Питання для самоконтролю

1. Які основні особливості технологічних систем виробництва борошняних продуктів, крупів та комбікормів, що впливають на їх моделювання?
2. Чим відрізняються етапи якісної та кількісної характеристики технологічної системи в контексті моделювання?
3. Як можна застосувати операторну модель технологічної системи для оптимізації технологічного процесу виробництва круп?
4. Які переваги має операторна схема порівняно з іншими типами графічних моделей в контексті технологічних систем?
5. Як впливає гідротермічна обробка зерна на ефективність лущення та якість готової продукції в процесі виробництва круп?

Лекція 6. Оптимізація технологічних процесів галузі: борошномельне виробництво

План лекції

1. Параметрична схема технологічного процесу виробництва борошна
2. Структурний аналіз і оптимізація технологічного процесу виробництва борошна

1. Параметрична схема технологічного процесу виробництва борошна

Для аналізу етапів формування якості в ході процесу переробки зерна технологічна схема представлена у вигляді структурно-параметричної.

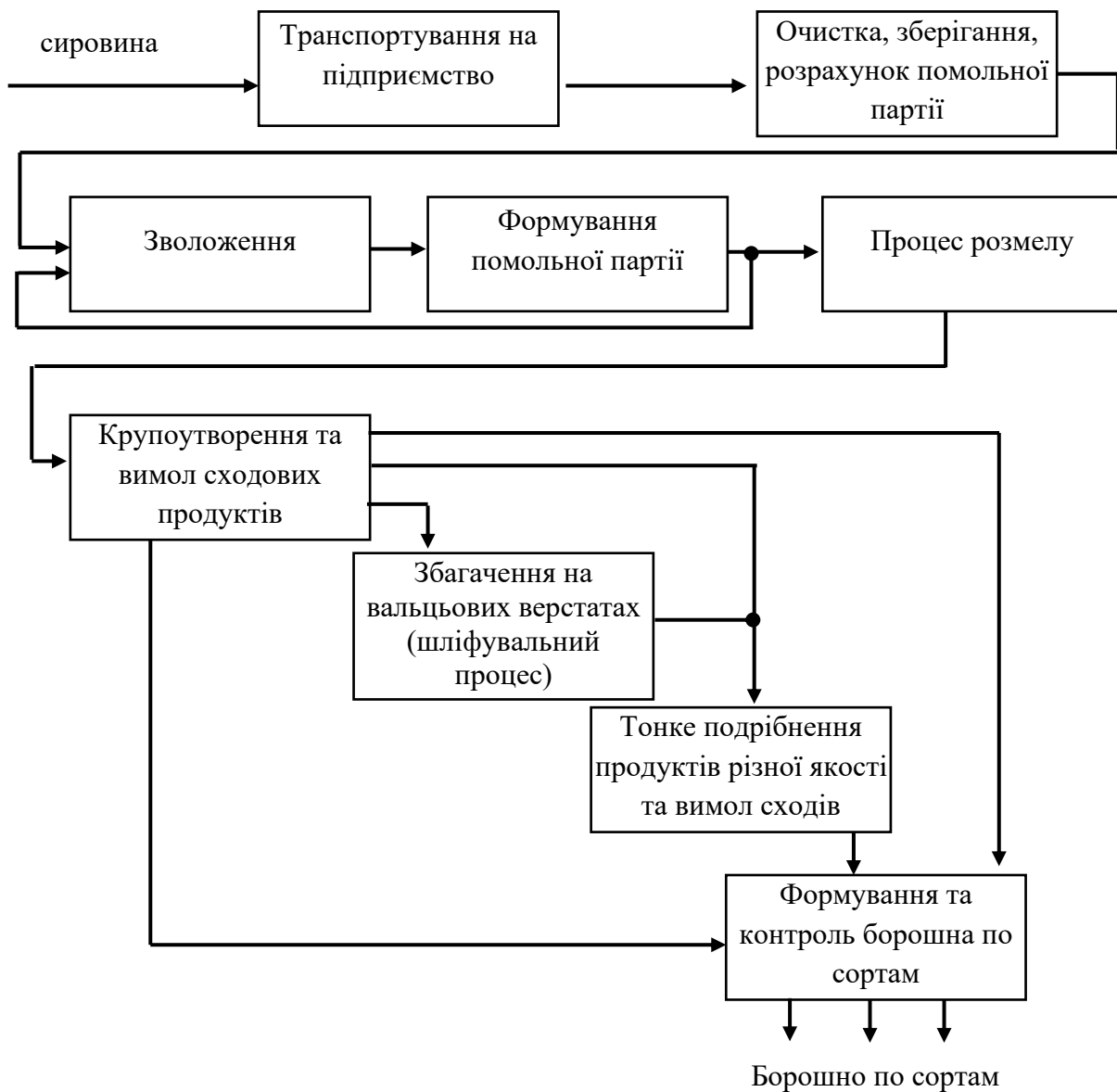


Рис.1. Структурно-параметрична схема технологічного процесу виробництва борошна

2. Структурний аналіз і оптимізація технологічних процесів виробництва борошна

Важливі чинники:

■ нахил сит (нахил ситового кузова має бути в межах 10...15 %, оскільки при більшому нахилі зерно швидко переміщається по ситі і очищення його погіршується, а при меншому нахилі зменшується продуктивність і погіршується очищення; ситовий кузов не має бути перекошений, інакше зерно переміщатиметься по одній стороні і очищення його погіршає);

■ очищення сит (засмічені ситові отвори зменшують корисну площу просіювання і зерно потрапляє у відходи; щітки механізму для очищення сит повинні щільно прилягати до сита по усій його площі; роботу їх вважають нормальними, якщо засмічені не більше 10 % отворів сита);

■ швидкість повітряного потоку зерна (якщо в очищеному зерні залишаються легкі частки, необхідно збільшити швидкість повітря, що продувається через зернову масу; якщо ж у виносах зустрічається зерно, швидкість повітря має бути зменшена регулюванням клапанів);

■ герметичність камери (якщо герметичність порушується, то присос повітря погіршує повітряний режим і знижує міру очищення зерна від легких домішок) і тому подібне

Ефективність процесу сепарації характеризують кількістю зерна, пропущеного в одиницю часу (продуктивність машини), і якістю його очищення, яка, у свою чергу, визначають двома показниками:

- повнотою виділення цього компонента з початкової суміші, тобто скільки отримано продукту від початкової його кількості в суміші (кількісна характеристика процесу);
- чистотою виділеного продукту тобто який зміст домішок в очищеному продукті (якісна характеристика процесу).

Ефективність процесу сепарації (E) визначають по формулі

$$E = \frac{X_1 - X_2}{X_1} (100 - m), \quad (1)$$

де: X_1 и X_2 - початковий і кінцевий зміст домішок в зерні, тобто на вході і виході сепаратора;

m - вміст придатного зерна у відходах, %.

До основних чинників, що впливають на ефективність і продуктивність оббивних машин в процесі **очищення і лушення поверхні зерна**, відносять:

- властивості зерна (міцність зерна, здатність до деформації, пластично-в'язкі властивості оболонок, міцність зв'язку оболонок з ендоспермом, вологість, маса зерна);
- швидкість обертання бичового ротора;
- величину проміжку між бичами і ситовим циліндром;
- розміри робочих поверхонь;
- інтенсивність, рівномірність і безперервність завантаження зерна;
- швидкість повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі.

Технологічну ефективність роботи (η) оббивних машин визначають по формулі

$$\eta = Z_1 - Z_2, \quad (2)$$

де: Z_1 , Z_2 - зольність зерна до і після оббивної машини, %.

Критеріями ефективності процесу очищення і лушення поверхні є показники зниження зольності зерна, приросту битих зерен, приросту вологості зерна (наприклад, у разі мокрого лушення зерна).

Істотному поліпшенню борошномельних властивостей, підвищенню виходу і якості борошна сприяє проведення **гідротермічної обробки (ГТО)**.

Для регулювання якості процесу ГТО враховують наступні впливові чинники:

- тривалість відволожування;
- температуру середовища, що впливає на зерно;
- атмосферні умови.

Ефективність гідротермічної обробки визначається зміною таких вихідних параметрів, як зниження щільності зерна, зростання його питомого об'єму, вологості зерна і так далі. Необхідно мати на увазі, що під час помелу перезволоженого зерна знижується продуктивність устаткування і збільшується витрата енергії.

Остаточне регулювання борошномельних властивостей зерна (а в подальшому - і хлібопекарських властивостей борошна) здійснюють на етапі **формування помольної суміші**. На ефективність проведення цієї операції чинять вплив:

- кількісне співвідношення змішуваних компонентів;
- точність оцінки основних властивостей зерна і її аналіз.

Ефективність проведення цієї операції враховують за середньозваженими значеннями основних показників якості помольної суміші (зольності, скловидності, вмісту клейковини, натурі). У тому випадку, коли складання помольних сумішей не практикують, потрібно значне коригування режимів роботи устаткування.

Процес помелу зерна у борошно повинен задовольняти наступним вимогам:

- забезпечувати найбільше витягання центральної частини ендосперму і доведення його подальшим подрібненням до певної фракції; отримане борошно повинне містити мінімальну кількість часток оболонки і зародка; вихід борошна має бути не нижчий розрахункового, встановленого для цього виду помелу, з урахуванням якості зерна, що переробляється;
- дотримуватися на усіх етапах помелу встановлених для цієї помольної суміші зерна режимів подрібнення; при цьому не рекомендується допускати зайвого дроблення оболонки і зародка;
- забезпечувати стабільне ведення процесу подрібнення на усіх системах.

Ефективність процесу подрібнення зерна на валкових верстатах визначається:

- ✓ властивостями зерна (структурно-механічними і борошномельними, а саме - скловидною, вологістю, міцністю);
- ✓ типом помелу;
- ✓ кінематичними і геометричними параметрами вальців -
 - окружною швидкістю вальця, що приймається в межах 5...6 м/с;
 - диференціалом, який приймають рівним 2,5 для усіх драних систем незалежно від помелу;
 - числом рифлей, яке для першої драної системи залежно від виду помелу досягає 5,5 рифлей на 1 см довжини кола вальців і збільшується для кожної подальшої системи на одну рифлю на 1 см;
 - ухилом рифлей, який на першій драній системі при переробці м'яких пшениць складає 8...10 % (для твердих і м'яких високоскловидних - 8%);
 - взаєморозташуванням рифлей вальців; для отримання максимальної кількості крупок рекомендується на першій, другій і третій драних системах застосовувати вальці з тим, що має в розпорядженні рифлей "вістря по вістря"; при помелі крупок на розмельних системах рифлі розташовують "спинка по спинці";
 - величиною міжвалкового проміжку;
 - типом робочої поверхні вальців;
 - параметрами рифлення, діаметром і завдовжки вальців;
 - питомим навантаженням на верстат.

Всяка зміна в роботі валкового верстата якої-небудь окремої системи (збільшення або зменшення кількості продукту, що поступає у верстат, зміну міри його подрібнення і тому подібне) поступово відбивається на роботі усіх систем, куди спрямовуються продукти цієї системи.

Неправильне регулювання навантаження і режиму подрібнення призводить до того, що продукти вимелюють погано, збільшується кількість висівок за рахунок борошнистих часток, що не вимелюють.

Комплексним показником оцінки роботи вальцових верстатів є вихід готової продукції і її якість. В якості критеріїв технологічної ефективності процесу подрібнення використовують такі показники, як міру подрібнення продукту, питому енергоємність процесу та ін.

Для визначення міри подрібнення у борошномельній практиці розраховують два показники - кількісний і комплексний. Їх розрахунок ведуть по формулах:

$$И = \frac{m_2 - m_1}{100 - m_1} \cdot 100, \% \quad (3)$$

де: m_1 і m_2 – відносний зміст проходових часток в продукті до і після вальцового верстата.

И - вилучення подрібнених продуктів на цій технологічній системі;

$$E = \frac{Z_0 - Z_i}{Z_i} \cdot 100, \% \quad (4)$$

де: Z_0 і Z_i – зольність продуктів на вході і на виході вальцевого верстата;

E - критерій ефективності процесу подрібнення

Значення комплексного критерію ефективності E для різних борошномельних заводів сортового помелу пшениці знаходяться в межах 24,4...43,6 %.

На *інтенсивність і характер подрібнення* впливають:

- форма поверхні вальців і характеристика рифлей (збільшення ухилу рифлей підвищує інтенсивність подрібнення);
- відношення швидкостей парнопрацюючих вальців (зі збільшенням їх відносної швидкості знижується зольність і підвищується витягання борошна);
- щільність нарізки рифлей (чим вона вища, тим більше міри подрібнення продукту) і так далі.

Технологічну ефективність можна визначити або за витратами для отримання певного результату, або за результатами, що досягаються при фіксованих витратах.

Енергетичні витрати на борошномельних заводах характеризуються питомою витратою електроенергії, потрібної для вироблення 1 тони борошна. Цей показник залежить від наступних основних чинників:

- типу помелу (від великості борошна, що виробляється – чим більше борошна, тим менше витрати енергії); протяжності (розвиненості) технологічного процесу;
- виду зерна і його структурно-механічних властивостей;
- вологості зерна, що переробляється;
- режиму технологічного процесу;
- стану технологічного устаткування;
- виду внутрішньоцехового транспорту (механічний або пневматичний).

Ефективність помелу можна оцінювати, якщо визначити міру витягання крохмалистої частини ендосперму у вигляді борошна (наприклад, по методу Єгорова - Орешкіної). Метод ґрунтується на тому, що увесь крохмаль зерна і білки, що формують клейковину, сконцентровані в крохмалистій частині ендосперму. У алейроновому шарі, зародку і оболонках цих речовин немає. Оскільки при сортовому помелі висівки утворюються з цих анатомічних частин зерна, то по розподілу крохмалю і клейковини між борошном і висівками можна розрахувати вміст крохмалистої частини ендосперму в борошні. Таким чином, визначаючи зміст крохмалю і сухої клейковини в зерні, можна мати уявлення про його потенційні технологічні достоїнства. Визначивши потім вміст цих речовин у борошні і зіставивши його з теоретично очікуваним, отримують оцінку ефективності витягання ендосперму при помелі.

Технологічна ефективність процесу **сортування** залежить від багатьох чинників:

- розмірів часток і їх співвідношення;
- питомого навантаження на сито;
- матеріалу виготовлення сита, розмірів і форми його отворів;
- кінематичних параметрів розсівань;
- способу очищення сит і тому подібне.

Ефективність проведення операції просіювання визначають виходячи із завдання сортування, а саме: розділення продуктів подрібнення на дві фракції - схід і прохід. При цьому розраховують узагальнені показники коефіцієнт витягання і коефіцієнт недосіву.

Коефіцієнт витягання визначають за формулою:

$$\eta_1 = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

де: m_0 – вміст проходових часток в продукті, що поступає на розсівання;
 m_1 - кількість витягнутих на розсіванні проходових часток.

Коефіцієнт недосіву розраховують за формулою:

$$\eta_2 = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

Сума цих коефіцієнтів рівна 100%.

Ефективність **збагачення крупок** в ситовіальному процесі оцінюють за допомогою комплексного критерію ефективності по формулі

$$E = \frac{m}{M} \cdot \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0}, \quad (7)$$

де: Z_0, Z_1 – зольність, що поступає на систему і витягнутої крупки, %;
 m - кількість (маса) очищеної крупки;
 M - кількість крупки, що поступає на систему, %;

На практиці величина критерію ефективності E знаходиться в межах 0,10...0,30.

Міра витягання ендосперму при помелі зерна визначається таким показником його борошномельних властивостей, як **вимелюваність**. Вона залежить від здатності клітин субалейронового шару подрібнюватися у борошно під дією робочих органів машин за збереження цілісності алейронового шару оболонки. Вимелюваність пов'язана із структурно-механічними властивостями ендосперму і визначається міцністю органічного зв'язку на межі алейронового і субалейронового шарів.

На вимелюваність зерна чинить вплив район зростання зерна і умови вегетації, тип, сорт, скловидна, вологість, режими підготовки і помелу і так далі. Вимелюваність зерна, у свою чергу, визначає разом з іншими чинниками вихід борошна і її зольність. В результаті поганої вимелюваності знижується вихід борошна і збільшується залишковий вміст ендосперму у висівках.

На технологічну ефективність роботи вимольної машини впливають: навантаження на 1 м^2 поверхні ситового циліндра; окружна швидкість бичового або щіткового барабана; характеристика продукту; форма і розміри отворів сит (номер сита залежить від оброблюваного продукту і має бути менший на один-

два номери в порівнянні з номерами сит розсівання, з яких продукт поступає в щіткову машину для вимолу) та ін.

Вимелюваність зерна кількісно оцінюють за мірою витягання ендосперму (%)

$$\eta = \left(1 - \frac{m_0 x_0}{m x}\right) 100, \quad (8)$$

де: m , m_0 - маса переробленого зерна і висівок, г;

x , x_0 - вміст крохмалю в зерні і висівках, % с.м.

Режим роботи вимольних систем характеризують: кількістю і зольністю борошна, вилученого на цих системах; кількістю, розміром і зольністю висівок. Вихід борошна на вимольних системах драного процесу складає 5...8 %; вихід висівок - 10...12 %, зольність 5,5...6,5 %; вміст крохмалю у висівках 18...21 %.

Питання для самоконтролю

1. Що таке параметрична схема технологічного процесу виробництва борошна і як вона використовується для аналізу етапів формування якості під час переробки зерна?

2. Які фактори впливають на ефективність процесу сепарації зерна в борошномельному виробництві, і як їх можна оптимізувати?

3. Що включає в себе структурний аналіз і оптимізація технологічних процесів виробництва борошна, і чому важливо враховувати нахил ситового кузова?

4. Як визначити технологічну ефективність роботи оббивних машин в процесі очищення і луцнення зерна, і які критерії використовуються для оцінки цієї ефективності?

5. Які основні чинники впливають на енергетичні витрати в борошномельному виробництві і як можна знизити витрати електроенергії на вироблення борошна?

Лекція 7. Апробація результатів наукових досліджень: написання статей

План лекції

1. Види наукових творів
2. Класифікація наукових статей
3. Правила написання наукових статей

1. Види наукових творів

Наукові результати, отримані в процесі досліджень, мають бути оброблені, систематизовані та оформлені у вигляді звіту або інших видів наукової продукції – *наукових творів*. Кожен науковий твір має свої композиційні особливості залежно від змісту та цільової спрямованості.

Викладення результатів наукового дослідження залежить від виду публікацій, розмаїття яких обумовлене різними цілями упорядкування та фіксації змісту наукової інформації, необхідної для забезпечення обміну авторськими думками та їх широкого розповсюдження й використання. До видів публікації відносяться статті, тези доповіді та доповідь, монографія, науковий звіт тощо.

Основні види наукових творів

Науковий твір	Характеристика
Доповідь	Містить основну ідею повідомлення та необхідну аргументацію для її обґрунтування
Тези доповіді	Матеріали попереднього характеру, що містять виклад основних аспектів наукової доповіді
Наукова стаття	Вид наукової публікації, де описано кінцеві або проміжні результати проведеного дослідження, обґрунтовано способи їх отримання, висвітлено перспективи наступних напрацювань
Монографія	Наукова праця у вигляді книги з поглибленим вивченням однієї або декількох (тісно пов'язаних між собою) тем, містить велику кількість наукових даних
Інформативний реферат	Стислий виклад суті однієї наукової роботи
Науковий реферат (автореферат дисертації)	Стислий виклад дисертаційного дослідження, який виконується після її фактичного завершення перед захистом
Дисертація	Містить відомості про самостійно виконану наукову роботу, подану на здобуття освітнього ступеня доктора філософії або доктора наук
Звіт з науково-дослідної роботи	Підсумковий результат науково-дослідної роботи, що відповідає певним вимогам. Висвітлюються основна ідея, результати досліджень та шляхи їх використання
Рецензія	Стаття, у якій критично розглянуто один або декілька наукових творів, подано аналіз досліджень та оцінку викладеного матеріалу, відгук про нього
Заявка про видачу патенту на винахід	Складається із заяви про видачу патенту на винахід, опису винаходу з його формулою, креслень (за необхідності). Містить акти випробувань і довідку про творчу участь кожного зі співавторів

2. Класифікація наукових статей

Наукові статті можливо класифікувати за наступними ознаками:

1. Тип дослідження

- **Оглядові статті:** Ці статті надають узагальнений огляд певної теми, ґрунтуючись на існуючій науковій літературі. Вони не описують оригінальні дослідження, але слугують цінним джерелом інформації для нових дослідників та тих, хто хоче отримати загальне розуміння теми.

- **Дослідницькі статті:** Ці статті описують оригінальні дослідження, проведені автором. Вони зазвичай включають постановку проблеми, методіку дослідження, результати та висновки. Дослідницькі статті є основою наукового прогресу та просувають знання в певній галузі.

- **Методичні статті:** Ці статті описують нові методи або інструменти для проведення досліджень. Вони надають детальну інформацію про те, як був розроблений метод, як його використовувати та які його переваги та обмеження. Методичні статті є важливими для покращення якості наукових досліджень.

2. Мета публікації

- **Емпіричні статті.** Цей тип статті ґрунтується на даних, зібраних за допомогою дослідження. Він описує методологію дослідження, результати та висновки.

- **Теоретичні статті.** Цей тип статті розробляє або розширює існуючу теорію. Він містить критичний огляд літератури, виклад нової теорії та її наслідки.

- **Методологічні статті.** Цей тип статті описує новий метод дослідження або пропонує новий спосіб аналізу даних. Він містить опис методу, його обґрунтування та приклади його застосування.

3. Цільова аудиторія:

- **Фахові статті.** Цей тип статті написаний для фахівців у певній галузі. Він містить технічну мову та припускає, що читач має певні знання з теми.

- **Науково-популярні статті.** Цей тип статті написаний для ширшої аудиторії. Він використовує просту мову та уникає технічного жаргону.

Важливо зазначити, що наукова стаття може відповідати декільком з цих категорій. Наприклад, дослідницька стаття може бути емпіричною та фаховою, а оглядова стаття може бути теоретичною та науково-популярною.

Міжнародні бази даних

Багато міжнародних баз даних використовують власні системи класифікації наукових статей. Деякі з найпоширеніших баз даних включають:

- **Scopus.** Найбільша база даних рецензованих статей та інших наукових публікацій. Scopus використовує власну систему класифікації, яка ґрунтується на темах, галузях досліджень та типах публікацій.

- **Web of Science.** Ще одна велика база даних рецензованих статей та інших наукових публікацій. Web of Science використовує систему класифікації під назвою "Категорії досліджень", яка поділяє наукові галузі на більш дрібні підгалузі.

- **PubMed.** База даних медичних та біомедичних статей. PubMed використовує власну систему класифікації, яка ґрунтується на Медичних предметних рубриках (MeSH).

- **Google Scholar.** Пошукова система, яка індексує наукові статті з різних джерел, включаючи веб-сайти журналів, репозитарії та бази даних. Google Scholar не має власної системи класифікації, але дозволяє користувачам шукати статті за темами, авторами та іншими критеріями.

3.Правила написання наукових статей

Основним видом оперативної публікації про нові дослідження з конкретної тематики є *наукова стаття*, мета якої полягає у поданні інформації про проведену наукову роботу, одержані результати та визначенні напрямку для подальших досліджень.

Наукові статті публікуються у фахових журналах та наукових збірниках. Основною вимогою до їх підготовки є лаконічність, чіткість і змістовність.

Для написання якісної статті необхідно дотримуватися стандартів структури наукової публікації та вимог наукового стилю, що сприяє однозначному розумінню й коректній оцінці матеріалу читачами. Ключовими ознаками наукового стилю є логічність, точність та об'єктивність.

Назва статті відіграє важливу роль, оскільки саме за нею формується перше враження про роботу. Вона повинна повністю відображати зміст дослідження. У тексті статті слід стисло й чітко викласти сучасний стан досліджуваної проблеми, мету роботи, методик дослідження, результати та їх обговорення.

Стаття, як правило, містить у собі наступні розділи:

- вступ (постановка проблеми);
- аналіз останніх досліджень і публікацій;
- формулювання цілей статті (мети та завдань);
- методи досліджень;
- результати досліджень та їх обговорення;
- висновки;
- список цитованих джерел.

Звичайно стаття включає також анотацію і "Ключові слова", а наприкінці статті також можуть приводитися слова подяки.

У *вступі* має бути обґрунтована актуальність розглянутого питання (що Ви розглядаєте й навіщо?).

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується дана стаття. Далі

формулюються *мета та завдання*. Під час роботи над цими розділами варто застосовувати методики оцінки цілей і визначити:

- наскільки чітко сформульована основна мета дослідження;
- чи достатньо повно використана тематична література;
- наскільки добре розкрита актуальність теми;
- чи має дослідження новаторський характер, або ж воно повторює результати попередніх робіт інших авторів.

У розділі "*Методи дослідження*" необхідно представити спосіб вирішення даного питання. Необхідно чітко і зрозуміло вказати методи і методику дослідження таким чином, щоб інші науковці достатньої кваліфікації змогли відтворити дослідження, ґрунтуючись на наведених методах.

В описі методів необхідно приділити увагу наступним моментам:

- вказати характеристику проведення дослідження: плацебо-контрольоване, подвійне сліпе, рандомізоване;
- докладно описати методику вибірки й указати протягом, якого часу проводилося спостереження;
- вказати статистичні методи, які застосовувалися при аналізі результатів.

Розділ "*Результати досліджень та їх обговорення*" є ключовим у науковій статті. Його мета — продемонструвати, які саме дані підтверджують робочу гіпотезу, пояснити, чому отримані результати мають саме такий вигляд, а також як вони співвідносяться з основною ідеєю дослідження.

Зазвичай цей розділ містить найбільше ілюстративного матеріалу: таблиць, графіків, діаграм, фотографій, які виконують доказову функцію та узагальнюють вихідні дані.

Також у цьому розділі необхідно:

- визначити характерні риси отриманих результатів;
- оцінити межі дослідження, тобто окреслити рамки, в яких отримані висновки є правомірними;
- порівняти результати з попередніми дослідженнями в цій галузі, враховуючи як власні попередні напрацювання, так і роботи інших авторів.

У *висновках* зіставляють отримані результати з початковою метою проведення роботи, визначають значення результатів для подальших досліджень.

Обсяг статті – 7-16 сторінок. Якщо матеріал не вкладається в необхідний обсяг, то можна звузити тему, а інші результати розглянути іншим разом.

Вимоги до стилю статті

- логічність та зрозумілість,
- стислість,
- точність наукової
термінології,
- вірогідність інформації,
- критичність у відборі фактів,
завершеність (цілісність
розкриття одного або кількох
питань),
- обґрунтованість висновків

Питання для самоконтролю

1. Які основні види наукових творів існують, і як вони відрізняються за своїм змістом і структурою?
2. Чим відрізняються оглядові, дослідницькі та методичні статті в наукових публікаціях? Наведіть приклади кожного типу.
3. Які основні етапи написання наукової статті і що повинно міститися в кожному з них?
4. Як повинні бути описані методи дослідження в науковій статті для того, щоб інші науковці могли відтворити проведене дослідження?
5. Яка роль та структура розділу "Результати досліджень та їх обговорення" в науковій статті, і чому він є таким важливим?

Лекція 8. Апробація результатів наукових досліджень: підготовка доповіді

План лекції

1. Особливості підготовки доповіді і тез доповіді.
2. Правила написання наукових статей

1. Особливості підготовки доповіді

Доповідь – це письмовий виклад розгорнутої форми виступу, де автор розкриває суть досліджуваної проблеми; наводить різні точки зору, а також власні погляди на неї. У доповіді поєднуються три якості дослідника: уміння провести дослідження, уміння донести результати слухачам і кваліфіковано відповісти на питання.

Доповідь може бути умовно розділена на три частини, кожна з яких має свою логіку побудови. Проте ці частини повинні складатися в єдине ціле, кожна наступна частина логічно розвивати ідеї попередньої.

Перша частина доповіді – *вступна*. У цій частині автор має сформулювати власне розуміння актуальності обраної теми, спираючись на літературні джерела, та навести підтвердження існування проблемної ситуації, що обговорюється. Тут також подається короткий критичний аналіз результатів досліджень інших авторів, із визначенням їхніх переваг і недоліків. У такий спосіб обґрунтовується необхідність дослідження, окреслюється його мета та комплекс завдань, які потрібно було вирішити для її досягнення. Крім того, подається характеристика об'єкта й предмета дослідження, пояснюється методологія наукового пошуку, а особлива увага приділяється застосованим методам дослідження.

Друга частина доповіді, *основна* й сама більша за обсягом, має містити результати теоретичних і експериментальних досліджень і їх аналіз. Послідовність викладу результатів визначається логікою дослідження й бажанням самого автора. Найчастіше план цієї частини виступу має виходити зі структури самого дослідження. У доповіді крок за кроком, спираючись на основні результати й висновки, формується в слухачів позитивне сприйняття отриманих результатів. Позитивна оцінка слухачів дуже важлива, оскільки метою виступу є донести до аудиторії нові наукові результати. Найбільш вигідні з погляду наукової новизни й практичної значимості результати варто висвітлювати в першу чергу й докладно, а другорядні можна тільки згадати.

Доповідь закінчується *заключною частиною*, побудованою на висновках і рекомендаціях. У цій частині мають пролунати всі основні досягнення автора, їх результативність, теоретична й практична значимість для науки.

Доповідь готується у письмовій формі обсягом 4-8 сторінок і розрахована на 10-20 хвилин виступу.

Коротша за змістом доповідь називається повідомленням і розрахована на 5-7 хвилин виступу.

Тези доповіді публікуються у збірниках, присвячених тематиці конференції, і мають на меті стисло та максимально інформативно представити актуальні питання, що розглядатимуться під час виступу. Тези являють собою послідовний виклад окремих тверджень, які не супроводжуються детальним аналізом фактичного матеріалу чи описом перебігу дослідження. Їх обсяг, як правило, не перевищує трьох сторінок, що зумовлює необхідність чітко формулювати ключові положення автора, які він планує обґрунтувати у доповіді або повідомленні.

2. Особливості підготовки презентації доповіді

Текст доповіді має супроводжуватися електронною презентацією, де вказані основні результати у вигляді схем, фотографій, таблиць, графіків тощо. Кількість таких матеріалів, у принципі, не обмежена, проте надмірна надмірна кількість може призвести до розмивання ідеї доповіді й несприйняттю отриманих результатів слухачами. Треба пам'ятати, що супутні ілюстрації повинні здобувачем демонструватися без особливих ускладнень і мати наочність, що викликає позитивну оцінку в присутніх. Обмислюючи, які ілюстрації включати в доповідь, дослідник повинен обмірковувати всі деталі того експерименту, узагальненням якого є ці ілюстрації, а також вірогідність, надійність і відтворюваність результатів, які вони узагальнюють.

Рекомендації щодо підготовки презентації доповіді

Успіх виступу доповідача на конференції значною мірою зумовлюється обраним засобом ілюстрації доповіді, тобто, презентації. Серед видів презентації актуальною на сьогодні є комп'ютерна подача інформації.

Комп'ютерні презентації готуються в редакторах презентацій, найбільш відомою з яких є Microsoft PowerPoint.

Під час підготовки презентації рекомендується дотримуватися таких принципів:

- пам'ятайте, що презентація оцінюється не лише як доповнення до вашого виступу, а й як відображення вашої особистості. Вона має допомагати вам структурувати виступ;
- Стильна й логічно побудована презентація сприятиме позитивному сприйняттю доповіді аудиторією, тоді як хаотична та без смаку оформлена може викликати негативне враження. Презентація не повинна дублювати текст виступу дослівно.
- уникайте зайвої строкатості. Використовуйте не більше трьох основних кольорів і трьох типів шрифту. Мінімізуйте кількість анімаційних ефектів усередині слайдів і дотримуйтеся єдиного стилю переходів між слайдами;
- робіть кожен слайд легким для читання. Не перевантажуйте його текстом – краще розділити інформацію на кілька слайдів із невеликим обсягом

тексту та 1-2 ілюстраціями. Якщо кількість слайдів обмежена, ретельно відбирайте зміст і візуальні матеріали.

- оптимізуйте мультимедійний контент. Зменшуйте розмір зображень до параметрів, що не перевищують розмір екрана презентаційного комп'ютера (наприклад, 800×600 пікселів – оптимальний розмір для більшості презентацій).

- намагайтеся використовувати у презентаціях стандартні типи файлів (фото та малюнки - *JPEG, TIFF, BMP, PNG, GIF*; аудіо – *MP3, WAV*, відео - *MPG, MP4* тощо). Це дозволить зробити вашу презентацію щодо незалежної від того комп'ютера, на якому вона буде відтворюватися;

- зверніть увагу на використання в презентації шрифти, намагайтеся не використовувати рідкісні і нестандартні; найбільш вживані і гарантовано присутні на будь-якому комп'ютері - *Arial i Times New Roman*, якщо є необхідність використання екзотичного шрифту - візьміть його зі свого комп'ютера (шрифти містяться в TTF-файлах) і встановіть на комп'ютер, з якого буде демонструватися презентація.

Важливо пам'ятати, що успішна доповідь залежить не лише від змісту, а й від стилю викладу та впевнених відповідей на запитання. Це створює сприятливу атмосферу для позитивного сприйняття дослідження.

Основні принципи ефективного виступу:

- чіткість і впевненість мовлення. Доповідь має бути спокійною, неквапливою, зрозумілою та граматично правильною. Важливо уникати надмірної швидкості та нечіткої вимови, оскільки це може знизити якість сприйняття матеріалу.

- поєднання наукової точності та доступності. Виступ не повинен бути спрощеним, але водночас має бути зрозумілим для фахової аудиторії.

- дотримання норм літературної мови. Особливу увагу слід приділити правильному наголошуванню слів і коректному формулюванню речень.

- чіткість формулювань. Варто уникати надмірного використання займенників, віддаючи перевагу повторенню іменників, що підвищує точність викладу.

- лаконічність викладу. Короткі, чіткі стверджувальні речення роблять текст доповіді зрозумілішим.

Обсяг доповіді залежить від часу, відпущеного організаторами для виступу, індивідуальних мовних особливостей доповідача й способу викладу доповіді.

Питання для самоконтролю

1. Як має бути структурована доповідь, і які частини обов'язково повинні бути в її складі?

2. Які особливості вимагаються при підготовці презентації для доповіді і чому важливо обмежувати кількість слайдів?

3. Яким чином доповідач має підготуватися до питань слухачів під час виступу?

4. Які критерії правильного вибору ілюстрацій для доповіді та презентації?

5. Які ключові моменти слід враховувати при підготовці тексту доповіді для виступу, щоб забезпечити ефективність сприйняття аудиторією?

Література

1. Дорохович А., Дорохович В., Зінченко Т. Оптимізація технологічних процесів галузі : підручник. Київ : ІНКОС, 2018. 392 с.

2. Шидакова-Каменюка О.Г., Самохвалова О.В., Олійник С.Г., Кравченко О.І. Методологія та організація наукових досліджень. Харків: ХДУХТ, 2016. 180 с.

3. Поперечний А.М., Потапов В.О., Корнійчук В.Г. Моделювання процесів і обладнання харчових виробництв. Центр учбової літератури. 2012. 312 с.

4. Ладієва Л.Р. Оптимізація технологічних процесів. – К.: ІВЦ. «Видавництво «Політехніка», 2004. 192 с.

5. Оптимізаційні методи та моделі. Конспект лекцій для студентів денної та заочної форми навчання/ В. М. Бондарчук, С. П. Давидчук. – Житомир: ЖДТУ, 2016.- 104 с.

6. Модернізація технологічних процесів харчових виробництв / [Електронний ресурс]. – Кам'янець-Подільський: Подільський державний аграрно-технічний університет, 2020. – 140 с.

7. Автоматизація і оптимізація неперервних технологічних процесів / [Електронний ресурс]. – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2018. – 120 с.

Навчальне видання

**СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ
ТА НАУКОВОГО ПОШУКУ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 181 «Харчові технології» ОПІ «Технології зернопродуктів та зернові ресурси»

Автори-укладачі:

ГАВРИШ Тетяна Володимирівна

ШАНІНА Ольга Миколаївна

ОЛІЙНИК Світлана Георгіївна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 4,8.

Наклад ___ пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44