

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ



Інженерно-енергетичний факультет
Кафедра загальнотехнічних дисциплін

**Управління якістю та оптимізація технологічних
параметрів обладнання в агроінженерії:**

методичні рекомендації до виконання самостійних робіт для
здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
ОПП «Агроінженерія» спеціальності
Н7 «Агроінженерія» денної та заочної форм здобуття вищої освіти

Миколаїв
2026

УДК 631.3:006.015.5:519.87

У-66

Рекомендовано до друку рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 22.09.26, протокол №1.

Укладач:

Н. А. Доценко – д-р. пед. наук, канд.техн. наук, професор, професор кафедри загальнотехнічних дисциплін, Миколаївський національний аграрний університет

Рецензенти:

В. М. Зубко – д-р техн.наук, професор, професор кафедри механічної та електричної інженерії, Полтавський державний аграрний університет

О. С. Садовий – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри агроінженерії, Миколаївський національний аграрний університет

© Миколаївський національний аграрний університет, 2026

© Доценко Н. А., 2026

ПЕРЕДМОВА

Сучасне агропромислове виробництво потребує фахівців, здатних не лише забезпечувати ефективну експлуатацію машин і обладнання, а й здійснювати системне управління якістю технологічних процесів, оцінювати їх результативність та обґрунтовувати оптимальні режими роботи технічних засобів. Важливого значення набуває комплексне врахування показників якості продукції та процесів, продуктивності обладнання, енерго- і ресурсоефективності, надійності та стабільності технологічних операцій.

Дисципліна «Управління якістю та оптимізація технологічних параметрів обладнання в агроінженерії» спрямована на формування у здобувачів вищої освіти системного розуміння принципів управління якістю та набуття практичних навичок оцінювання й оптимізації технологічних параметрів обладнання. Особливу увагу приділено встановленню взаємозв'язку між параметрами технологічного процесу та показниками його якості, визначенню причин виникнення відхилень, вибору способів контролю і регулювання та обґрунтуванню заходів щодо підвищення ефективності функціонування техніко-технологічних систем.

Методичні рекомендації призначені для організації самостійної роботи здобувачів другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». Вони спрямовані на поглиблення теоретичних знань, розвиток аналітичного та інженерного мислення, формування навичок самостійного опрацювання наукової й технічної інформації, виконання розрахунків, аналізу експериментальних даних та прийняття обґрунтованих інженерних рішень.

Самостійна робота передбачає опрацювання теоретичного матеріалу, виконання індивідуальних завдань, проведення розрахунків і порівняльного аналізу технологічних параметрів, побудову таблиць, графіків та діаграм, оцінювання показників якості й ефективності роботи обладнання. Результати виконаних завдань можуть використовуватися під час практичних занять та підготовки підсумкової презентації, у якій здобувач узагальнює отримані результати та обґрунтовує запропоновані заходи з удосконалення технологічного процесу.

Особливе значення має практична спрямованість самостійної роботи, оскільки сформовані в процесі навчання вміння можуть бути застосовані під час проєктування, експлуатації та вдосконалення обладнання агропромислового виробництва. Виконання завдань сприяє формуванню здатності аналізувати технологічні процеси, визначати критичні параметри, оцінювати якість їх функціонування та розробляти рішення, спрямовані на підвищення якості, продуктивності, енергоефективності й ресурсозбереження.

Методичні рекомендації мають сприяти формуванню професійних компетентностей майбутнього фахівця з агроінженерії та його готовності до самостійного вирішення складних інженерних завдань у сучасних умовах агропромислового виробництва.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
ЗМІСТ.....	5
САМОСТІЙНА РОБОТА № 1.....	9
Мета роботи	9
Питання для самостійного опрацювання.....	9
Методичні рекомендації щодо виконання.....	9
Розрахункові формули	9
Приклад розрахунку	9
Завдання для самостійного виконання.....	10
Питання для самоконтролю.....	11
САМОСТІЙНА РОБОТА № 2.....	12
Мета роботи	12
Питання для самостійного опрацювання.....	12
Методичні рекомендації щодо виконання.....	12
Розрахункові формули	12
Приклад розрахунку	12
Завдання для самостійного виконання.....	13
Питання для самоконтролю.....	14
САМОСТІЙНА РОБОТА № 3.....	15
Мета роботи	15
Питання для самостійного опрацювання.....	15
Методичні рекомендації щодо виконання.....	15
Розрахункові формули	15
Приклад розрахунку	15
Завдання для самостійного виконання.....	16
Питання для самоконтролю.....	17
САМОСТІЙНА РОБОТА № 4.....	18
Мета роботи	18
Питання для самостійного опрацювання.....	18
Методичні рекомендації щодо виконання.....	18

Розрахункові формули	18
Приклад розрахунку	18
Завдання для самостійного виконання	19
Питання для самоконтролю	20
САМОСТІЙНА РОБОТА № 5	21
Мета роботи	21
Питання для самостійного опрацювання	21
Методичні рекомендації щодо виконання	21
Розрахункові формули	21
Приклад розрахунку	21
Завдання для самостійного виконання	22
Питання для самоконтролю	23
САМОСТІЙНА РОБОТА № 6	24
Мета роботи	24
Питання для самостійного опрацювання	24
Методичні рекомендації щодо виконання	24
Розрахункові формули	24
Приклад розрахунку	25
Завдання для самостійного виконання	25
Питання для самоконтролю	26
САМОСТІЙНА РОБОТА № 7	27
Мета роботи	27
Питання для самостійного опрацювання	27
Методичні рекомендації щодо виконання	27
Розрахункові формули	27
Приклад розрахунку	27
Завдання для самостійного виконання	28
Питання для самоконтролю	29
САМОСТІЙНА РОБОТА № 8	30
Мета роботи	30
Питання для самостійного опрацювання	30
Методичні рекомендації щодо виконання	30

Розрахункові формули	30
Приклад розрахунку	31
Завдання для самостійного виконання.....	31
Питання для самоконтролю.....	32
САМОСТІЙНА РОБОТА № 9.....	33
Мета роботи	33
Питання для самостійного опрацювання.....	33
Методичні рекомендації щодо виконання.....	33
Розрахункові формули	33
Приклад розрахунку	34
Завдання для самостійного виконання.....	34
Питання для самоконтролю.....	35
САМОСТІЙНА РОБОТА № 10.....	36
Мета роботи	36
Питання для самостійного опрацювання.....	36
Методичні рекомендації щодо виконання.....	36
Розрахункові формули	36
Приклад розрахунку	37
Завдання для самостійного виконання.....	37
Питання для самоконтролю.....	38
САМОСТІЙНА РОБОТА № 11.....	39
Мета роботи	39
Питання для самостійного опрацювання.....	39
Методичні рекомендації щодо виконання.....	39
Розрахункові формули	39
Приклад розрахунку	39
Завдання для самостійного виконання.....	40
Питання для самоконтролю.....	41
САМОСТІЙНА РОБОТА № 12.....	42
Мета роботи	42
Питання для самостійного опрацювання.....	42
Методичні рекомендації щодо виконання.....	42

Розрахункові формули	42
Приклад розрахунку	42
Завдання для самостійного виконання	43
Питання для самоконтролю	44
САМОСТІЙНА РОБОТА № 13	45
Мета роботи	45
Питання для самостійного опрацювання	45
Методичні рекомендації щодо виконання	45
Розрахункові формули	45
Приклад розрахунку	46
Завдання для самостійного виконання	46
Питання для самоконтролю	47
САМОСТІЙНА РОБОТА № 14	48
Мета роботи	48
Питання для самостійного опрацювання	48
Методичні рекомендації щодо виконання	48
Розрахункові формули	48
Приклад розрахунку	48
Завдання для самостійного виконання	49
Питання для самоконтролю	50
САМОСТІЙНА РОБОТА № 15	51
Мета роботи	51
Питання для самостійного опрацювання	51
Методичні рекомендації щодо виконання	51
Розрахункові формули	51
Приклад розрахунку	51
Завдання для самостійного виконання	52
Питання для самоконтролю	53
Список використаних джерел:	54

САМОСТІЙНА РОБОТА № 1

Еволюція виробничо-технологічних систем в агроінженерії

Мета роботи

Дослідити історичні етапи еволюції виробничо-технологічних систем в агроінженерії та закріпити навички структурного аналізу сучасної системи з розрахунком її загального ККД.

Питання для самостійного опрацювання

1. Поняття виробничо-технологічної системи та її складові
2. Рівні організації агроінженерних систем (елемент, машина, комплекс, система)
3. Функціональні зв'язки між елементами системи
4. Показники ефективності функціонування систем
5. Роль агроінженерії у формуванні виробничих систем

Методичні рекомендації щодо виконання

Опрацювати рекомендовані джерела з історії розвитку агроінженерії, підготувати короткий огляд (реферат обсягом 3–5 сторінок) основних історичних етапів і сучасних тенденцій. У розрахунковій частині виконати структурний аналіз заданої системи (за варіантом) та обчислити її загальний ККД.

Розрахункові формули

$$E = R / Z \quad (1)$$

де E - узагальнений показник ефективності системи; R – результат функціонування системи (обсяг або вартість виробленої продукції); Z – сукупні витрати ресурсів на досягнення цього результату.

Приклад розрахунку

Розглянемо технологічний комплекс післязбиральної обробки зерна, що складається з норії ($\eta_1=0,95$), сепаратора ($\eta_2=0,97$) та сушарки з приводом транспортера ($\eta_3=0,96$).

Загальний ККД комплексу: $\eta = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 0,885$.

Якщо сумарна встановлена потужність приводів становить $N_1 = 45$ кВт, корисна потужність, що реалізується на технологічний процес: $N_2 = 45 \cdot 0,885 = 39,8$ кВт.



Рисунок 1.1 – Ієрархія рівнів організації агроінженерної системи

Завдання для самостійного виконання

За заданим складом технологічного комплексу (за варіантом) побудувати структурну схему із зазначенням рівнів організації (елемент – машина – комплекс), обчислити загальний ККД комплексу та корисну потужність технологічного процесу.

Варіант	Технологічний комплекс	ККД ланок	N_1 , кВт
1	Комплекс післязбиральної обробки зерна	0,95; 0,97; 0,96	45
2	Комплекс приготування та роздачі кормів	0,93; 0,96; 0,97	30
3	Комплекс доїння та первинної обробки молока	0,96; 0,98; 0,95	18
4	Комплекс сушіння та зберігання насіння	0,94; 0,97; 0,96	38

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення виробничо-технологічної системи та назвіть її основні складові.
2. Охарактеризуйте ієрархічні рівні організації агроінженерних систем.
3. Які типи функціональних зв'язків існують між елементами системи?
4. Назвіть основні показники ефективності функціонування виробничо-технологічної системи.
5. У чому полягає роль агроінженерії у формуванні сучасних виробничих систем?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 2

Основні принципи організації технологічних процесів у рослинництві

Мета роботи

Поглибити знання про принципи організації технологічних процесів у рослинництві та оволодіти методикою побудови схеми процесу з оцінюванням ефективності використання ресурсів.

Питання для самостійного опрацювання

1. Поняття технологічного процесу та його структура
2. Етапи формування технологічних операцій
3. Взаємозв'язок біологічних і технічних процесів
4. Ресурсне забезпечення технологічних процесів
5. Критерії ефективності агротехнологій

Методичні рекомендації щодо виконання

Опрацювати теоретичний матеріал щодо структури технологічного процесу, підготувати схему процесу для обраної агротехнології та виконати розрахунок коефіцієнта ефективності використання ресурсів.

Розрахункові формули

$$Ke = Wn / (W1 + W2 + ... + Wn) \quad (1)$$

де Ke - коефіцієнт ефективності використання ресурсів технологічного процесу; Wn – обсяг отриманої продукції; $W1...Wn$ – витрати окремих видів ресурсів, приведені до єдиних одиниць виміру (наприклад, у грошовому чи енергетичному еквіваленті).

Приклад розрахунку

Технологічний процес виробництва комбікорму: вхідні ресурси – зернова сировина ($Wc = 1000$ кг), електроенергія (We , приведена

вартість), праця ($W_{п}$, приведена вартість); вихід – готовий комбікорм $W_{п'} = 950$ кг (з урахуванням технологічних втрат 5%).

Коефіцієнт ефективності використання ресурсів (за масою): $K_e = 950/1000 = 0,95$, що відповідає нормативному рівню технологічних втрат для даного виду виробництва.

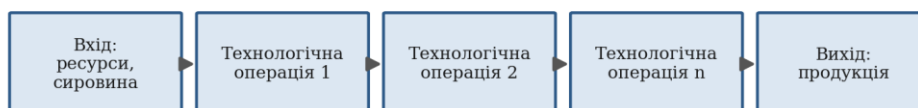


Рисунок 2.1 – Загальна структура технологічного процесу як послідовності операцій

Завдання для самостійного виконання

Для заданого технологічного процесу (за варіантом) побудувати схему послідовності операцій, визначити склад вхідних ресурсів і вихідний результат, обчислити коефіцієнт ефективності використання ресурсів процесу.

Варіант	Технологічний процес	Вхід, кг(од.)	Вихід, кг(од.)
1	Виробництво комбікорму	1000	950
2	Обробіток ґрунту під сівбу	12 га (план)	11,4 га (виконано якісно)
3	Сушіння зерна	1000 (вологе)	870 (суха маса)
4	Переробка молока на масло	1000 (молоко)	38 (масло)

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення технологічного процесу та охарактеризуйте його структурні елементи.
2. Які етапи включає формування технологічної операції?
3. У чому проявляється взаємозв'язок біологічних і технічних процесів в агротехнологіях?
4. Які види ресурсів забезпечують виконання технологічного процесу?
5. Назвіть критерії оцінювання ефективності агротехнологій.

САМОСТІЙНА РОБОТА № 3

Системний підхід до аналізу складних виробничих процесів

Мета роботи

Розвинути навички системного підходу до аналізу складних виробничих процесів агропідприємства через визначення вхідних, внутрішніх і вихідних параметрів системи та механізмів зворотного зв'язку.

Питання для самостійного опрацювання

1. Основи системного аналізу
2. Вхідні та вихідні параметри системи
3. Зворотні зв'язки в технологічних системах
4. Декомпозиція складних виробничих процесів
5. Методи оцінювання ефективності систем

Методичні рекомендації щодо виконання

Вивчити принципи системного аналізу, визначити для заданого виробничого процесу склад вхідних, внутрішніх і вихідних параметрів, описати механізм зворотного зв'язку та оформити результати у вигляді схеми.

Розрахункові формули

$$Y = F(X, S) \quad (1)$$

де Y - загальний вигляд системної залежності; Y – вектор вихідних параметрів системи; X – вектор вхідних параметрів; S – вектор параметрів стану (структури) системи; F – оператор перетворення, що описує функціонування системи.

Приклад розрахунку

Виробничий процес вирощування зернових культур: вхідні параметри X – норма висіву, доза добрив, кількість опадів;

параметри стану S – родючість ґрунту, стан посівного матеріалу; вихідний параметр Y – урожайність.

Система з негативним зворотним зв'язком: за результатами моніторингу вологості ґрунту (вихідний параметр) коригується режим поливу (вхідний параметр) для стабілізації умов вегетації.

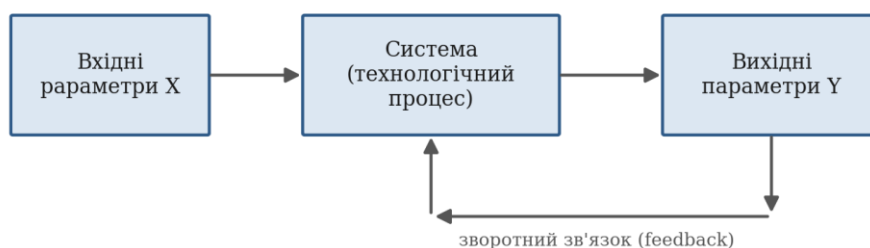


Рисунок 3.1 – Схема системи з негативним зворотним зв'язком

Завдання для самостійного виконання

Для заданого виробничого процесу агропідприємства (за варіантом) визначити перелік вхідних, внутрішніх (стану) та вихідних параметрів системи, побудувати схему системи із зворотним зв'язком та описати механізм коригувального впливу.

Варіант	Виробничий процес	Вихідний параметр Y
1	Вирощування зернових культур	урожайність
2	Відгодівля великої рогатої худоби	приріст живої маси
3	Зберігання зерна на елеваторі	втрати маси і якості зерна
4	Доїння корів	надій молока, жирність

Питання для самоконтролю

1. Сформулюйте основні принципи системного аналізу.
2. Охарактеризуйте вхідні, внутрішні та вихідні параметри технологічної системи.
3. У чому різниця між негативним і позитивним зворотним зв'язком?
4. Що таке декомпозиція виробничого процесу і для чого вона застосовується?
5. Назвіть основні методи оцінювання ефективності технологічних систем.

САМОСТІЙНА РОБОТА № 4

Класифікація агротехнологічних систем та їх характеристика

Мета роботи

Систематизувати знання про класифікацію агротехнологічних систем та оволодіти методикою обґрунтування вибору типу системи на основі показника готовності.

Питання для самостійного опрацювання

1. Ознаки класифікації технологічних систем
2. Типи систем у рослинництві
3. Механізовані та автоматизовані системи
4. Параметри оцінки систем
5. Вплив зовнішніх умов

Методичні рекомендації щодо виконання

Систематизувати класифікаційні ознаки технологічних систем рослинництва у вигляді таблиці, виконати розрахунок коефіцієнта готовності заданої системи за наведеними даними та обґрунтувати висновок.

Розрахункові формули

$$K_g = T_p / (T_p + T_v) \quad (1)$$

де K_g - коефіцієнт готовності технологічної системи; T_p – сумарний час роботи системи за певний період; T_v – сумарний час вимушених простоїв (технічне обслуговування, ремонт, усунення відмов).

Приклад розрахунку

Для господарства з площею 500 га зернових культур розглядається вибір між механізованою системою збирання врожаю (комбайн з ручним керуванням регулювань) та автоматизованою (комбайн із системою автоматичного контролю втрат і завантаження двигуна).

Розрахунок коефіцієнта готовності $K_r = T_p / (T_p + T_v)$ для двох варіантів техніки дає змогу кількісно порівняти їх експлуатаційну ефективність за фактичними даними напрацювання й простоїв.

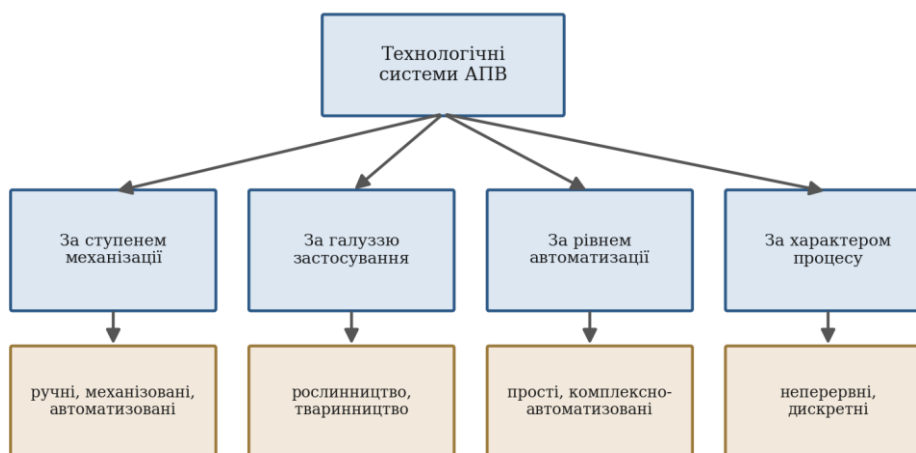


Рисунок 4.1 – Класифікація технологічних систем аграрного виробництва

Завдання для самостійного виконання

Здійснити класифікацію заданої технологічної системи рослинництва (за варіантом) за всіма розглянутими ознаками; обчислити коефіцієнт готовності системи за наведеними даними напрацювання й простоїв; обґрунтувати доцільність переходу на автоматизований варіант.

Варіант	Технологічна система	Тр, год	Тв, год
1	Система збирання зернових	1200	80
2	Система обробітку ґрунту	900	45
3	Система захисту рослин (обприскування)	600	30
4	Система сівби	500	20

Питання для самоконтролю

1. За якими ознаками класифікують технологічні системи аграрного виробництва?
2. Назвіть основні типи технологічних систем у рослинництві.
3. У чому різниця між механізованими та автоматизованими системами?
4. Які параметри застосовують для оцінювання технологічних систем?
5. Як зовнішні умови впливають на функціонування технологічних систем?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 5

Основи математичного опису виробничих процесів

Мета роботи

Оволодіти основами математичного опису виробничих процесів через побудову та перевірку адекватності регресійної моделі.

Питання для самостійного опрацювання

1. Поняття математичної моделі
2. Типи моделей (детерміновані, стохастичні)
3. Побудова моделей виробничих процесів
4. Вхідні та вихідні змінні
5. Прогнозування процесів

Методичні рекомендації щодо виконання

Опрацювати методику побудови регресійних моделей, виконати розрахунок коефіцієнтів моделі (або використати надане рівняння) та оцінити адекватність моделі за коефіцієнтом детермінації R^2 .

Розрахункові формули

$$Y = b_0 + \sum b_i \cdot x_i + \sum b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum b_{ii} \cdot x_i^2 \quad (1)$$

де Y - загальний вигляд регресійної моделі другого порядку (для планованого багатфакторного експерименту); b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти регресії; x_i, x_j - фактори (незалежні змінні) у кодованому масштабі.

$$R^2 = 1 - (\sum (y_i - \hat{y}_i)^2) / (\sum (y_i - \bar{y})^2) \quad (2)$$

де R^2 - коефіцієнт детермінації як міра адекватності моделі; y_i - фактичні значення відгуку; $\hat{y}_i$ - розрахункові (модельні) значення; $\bar{y}$ - середнє значення відгуку за вибіркою.

Приклад розрахунку

За результатами трифакторного експерименту отримано лінійну модель продуктивності подрібнювача кормів: $Q = 450 + 35 \cdot x_1 -$

$20 \cdot x_2 + 15 \cdot x_3$ (кг/год), де x_1 – частота обертання ротора (кодоване значення), x_2 – вологість сировини, x_3 – розмір решета.

Перевірка адекватності моделі за 8 дослідними точками дала коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,93$, що свідчить про високу відповідність моделі експериментальним даним (модель пояснює 93% варіації продуктивності).

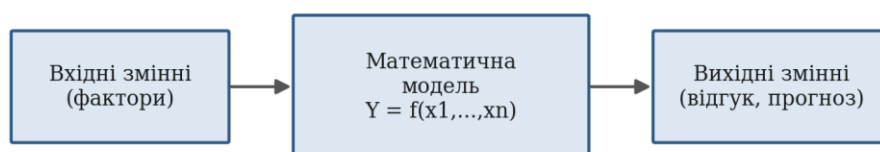


Рисунок 5.1 – Загальна схема математичної моделі виробничого процесу

Завдання для самостійного виконання

За наведеними у варіанті даними експерименту (значення факторів і відгуку) визначити коефіцієнти лінійної регресійної моделі методом найменших квадратів (або використати наведене рівняння), обчислити розрахункові значення відгуку та коефіцієнт детермінації R^2 .

Варіант	Процес	Модель / дані
1	Подрібнення кормів	$Q = 450 + 35x_1 - 20x_2 + 15x_3$; 8 дослідних точок (видаються викладачем)
2	Сушіння зерна	$W = 18 - 2,5x_1 + 1,2x_2$; 6 дослідних точок
3	Внесення добрив	$Y = 42 + 3,1x_1 - 0,8x_1^2$; 7 дослідних точок
4	Доїння (продуктивність доїльної установки)	$Q = 620 + 40x_1 + 18x_2$; 6 дослідних точок

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення математичної моделі виробничого процесу.
2. У чому різниця між детермінованими та стохастичними моделями?
3. Опишіть основні етапи побудови математичної моделі технологічного процесу.
4. Що таке вхідні (факторні) та вихідні (відгукові) змінні моделі?
5. Яким чином математична модель використовується для прогнозування та оптимізації процесу?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 6

Вплив технологічних параметрів на ефективність виробництва

Мета роботи

Дослідити вплив технологічних параметрів на ефективність виробництва та закріпити методику визначення оптимального значення параметра.

Питання для самостійного опрацювання

1. Основні технологічні параметри
2. Вплив параметрів на продуктивність
3. Зв'язок параметрів і якості
4. Регулювання режимів роботи
5. Оптимальні значення параметрів

Методичні рекомендації щодо виконання

Дослідити характер залежності продуктивності від технологічного параметра, визначити оптимальне значення параметра методом диференціювання заданої функції.

Розрахункові формули

$$Q = Q(v, h, \dots) \quad (1)$$

де Q - продуктивність технологічного процесу як функція режимних параметрів (швидкості v , глибини обробітку h та ін.); конкретний вигляд залежності встановлюється експериментально або аналітично для кожного типу обладнання.

$$dQ/dv = 0 \rightarrow v_{opt} \quad (2)$$

де dQ/dv - умова існування екстремуму продуктивності за швидкісним параметром; розв'язання цього рівняння відносно v дає оптимальне значення параметра v_{opt} , за якого продуктивність максимальна.

Приклад розрахунку

Залежність продуктивності зерносушарки від температури агента сушіння апроксимована функцією $Q(t) = -0,8t^2 + 40t - 150$ (т/год, $t - ^\circ\text{C}$).

Похідна: $dQ/dt = -1,6t + 40 = 0 \rightarrow t_{\text{опт}} = 25^\circ\text{C}$.

Максимальна продуктивність за оптимальної температури: $Q(25) = -0,8 \cdot 625 + 40 \cdot 25 - 150 = 350$ т/год (у прийнятих умовних одиницях моделі).

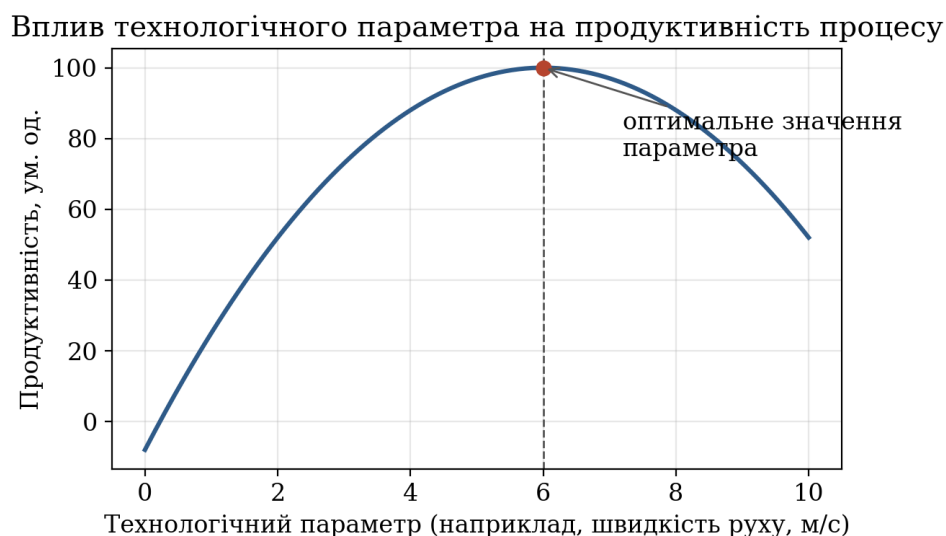


Рисунок 6.1 – Типова залежність продуктивності технологічного процесу від режимного параметра

Завдання для самостійного виконання

За заданою (у варіанті) залежністю продуктивності від технологічного параметра визначити оптимальне значення параметра методом диференціювання ($dQ/dx=0$) та обчислити відповідне максимальне значення продуктивності.

Варіант	Процес	Залежність $Q(x)$
1	Сушіння зерна (температура)	$Q(t) = -0,8t^2 + 40t - 150$
2	Обробіток ґрунту (швидкість)	$Q(v) = -5v^2 + 60v - 40$
3	Подрібнення кормів (частота обертання)	$Q(n) = -0,02n^2 + 8n - 200$
4	Висів насіння (швидкість агрегату)	$Q(v) = -4v^2 + 50v - 30$

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні групи технологічних параметрів обладнання АПВ.
2. Чому залежність продуктивності від режимного параметра має екстремальний характер?
3. Як пов'язані технологічні параметри процесу з показниками якості продукції?
4. Які існують способи регулювання режимів роботи обладнання?
5. Як визначається оптимальне значення технологічного параметра?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 7

Методи оцінювання якості сільськогосподарської продукції

Мета роботи

Поглибити знання методів оцінювання якості сільськогосподарської продукції та оволодіти розрахунком комплексного показника якості.

Питання для самостійного опрацювання

1. Поняття якості продукції
2. Кількісні та якісні показники
3. Методи контролю якості
4. Стандарти та нормативи
5. Системи оцінювання

Методичні рекомендації щодо виконання

Опрацювати систему одиничних показників якості обраного виду продукції, обчислити комплексний показник якості за наведеними вагами та нормованими значеннями.

Розрахункові формули

$$Kя = \sum(wi \cdot qi), \quad i = 1 \dots n \quad (1)$$

де $Kя$ - комплексний (інтегральний) показник якості продукції; wi - коефіцієнт вагомості i -го одиничного показника якості ($\sum wi = 1$); qi - відносна оцінка i -го показника (від 0 до 1) щодо нормативного (еталонного) значення; n - кількість урахованих показників.

$$P = (n - m) / n \cdot 100\% \quad (2)$$

де P - частка продукції, що відповідає вимогам якості (для вибіркового контролю); n - обсяг вибірки; m - кількість одиниць продукції у вибірці, що не відповідають нормативним вимогам.

Приклад розрахунку

Оцінювання якості партії зерна пшениці за трьома показниками: вологість ($w=0,4$, нормоване значення 0,95), вміст білка ($w=0,35$,

нормоване значення 0,90), засміченість ($w=0,25$, нормоване значення 0,85).

Комплексний показник якості: $K_y = 0,4 \cdot 0,95 + 0,35 \cdot 0,90 + 0,25 \cdot 0,85 = 0,38 + 0,315 + 0,2125 = 0,908$, що відповідає високому рівню якості партії зерна.

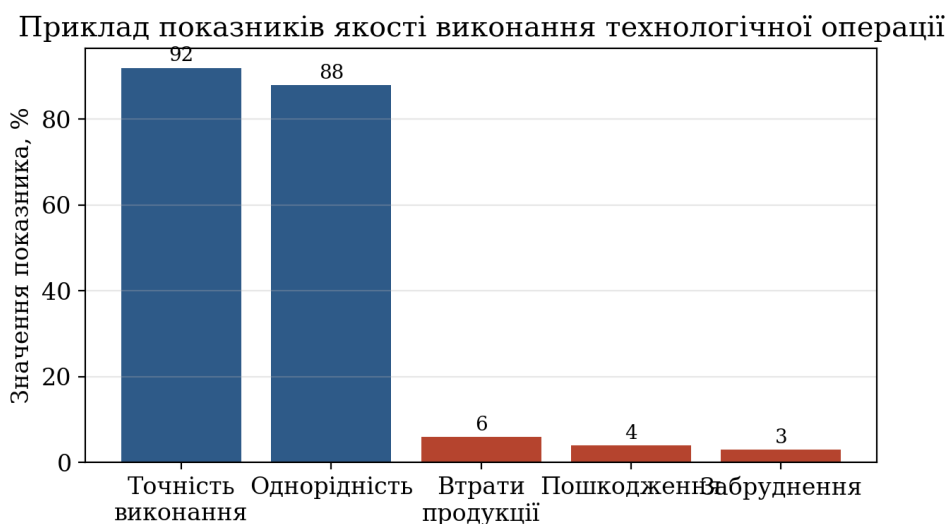


Рисунок 7.1 – Приклад показників якості виконання технологічної операції

Завдання для самостійного виконання

За заданими у варіанті одиничними показниками якості продукції та їх ваговими коефіцієнтами обчислити комплексний (інтегральний) показник якості; зробити висновок про рівень якості продукції.

Варіант	Продукція	Показники (ваги, нормовані значення)
1	Зерно пшениці	вологість 0,4/0,95; білок 0,35/0,90; засміченість 0,25/0,85
2	Молоко	жирність 0,4/0,92; чистота 0,3/0,95; кислотність 0,3/0,88
3	Картопля	розмір бульб 0,35/0,90; пошкодження 0,35/0,85; вміст крохмалю 0,3/0,93
4	Силос кукурудзяний	вологість 0,4/0,88; рН 0,3/0,90; вміст поживних речовин 0,3/0,92

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення поняття «якість продукції».
2. У чому різниця між кількісними та якісними показниками якості?
3. Охарактеризуйте суцільний і вибірковий методи контролю якості.
4. Яку роль відіграють стандарти ДСТУ та ISO в оцінюванні якості продукції?
5. Як обчислюється комплексний (інтегральний) показник якості продукції?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 8

Оптимізаційні моделі в аграрному виробництві

Мета роботи

Систематизувати оптимізаційні моделі, що застосовуються в аграрному виробництві, та оволодіти методикою розв'язання задачі мінімізації сумарних витрат.

Питання для самостійного опрацювання

1. Поняття оптимізації
2. Критерії оптимальності
3. Математичні методи оптимізації
4. Обмеження ресурсів
5. Баланс ефективності та витрат

Методичні рекомендації щодо виконання

Розглянути постановку задачі оптимізації для заданого технологічного процесу, визначити оптимальне значення регульованого параметра за критерієм мінімуму сумарних витрат.

Розрахункові формули

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr}, \text{ за умов } g_j(x) \leq 0, j=1 \dots m \quad (1)$$

це загальна постановка задачі оптимізації технологічного процесу; F – цільова функція (критерій оптимальності); $x_1 \dots x_n$ – керовані змінні (технологічні параметри); $g_j(x)$ – функції обмежень на ресурси, строки або екологічні норми.

$$Z(x) = Z_v(x) + Z_{втр}(x) \rightarrow \min \quad (2)$$

де $Z(x)$ – умова оптимізації за критерієм мінімуму сумарних витрат; $Z_v(x)$ – виробничі витрати, що зростають зі збільшенням інтенсивності параметра x ; $Z_{втр}(x)$ – втрати від недостатньої якості чи неповного використання ресурсу, що спадають зі збільшенням x .

Приклад розрахунку

Витрати на внесення добрив: $Z_v(x) = 12 \cdot x$ (грн/га, x – доза добрив, кг/га д.р.); втрати від недобору врожаю при недостатній дозі: $Z_{втр}(x) = 3000/x$ (грн/га).

Сумарні витрати: $Z(x) = 12x + 3000/x$. Умова мінімуму: $dZ/dx = 12 - 3000/x^2 = 0 \rightarrow x^2 = 250 \rightarrow x_{\text{опт}} = 15,8$ кг/га д.р.

За цієї дози сумарні витрати становитимуть $Z(15,8) = 12 \cdot 15,8 + 3000/15,8 = 189,6 + 189,9 = 379,5$ грн/га – мінімальні для заданих умов.

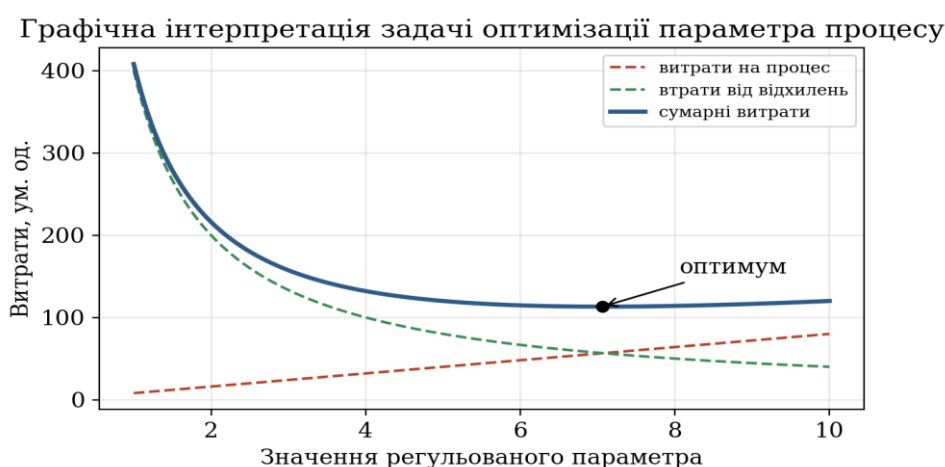


Рисунок 8.1 – Графічна інтерпретація задачі оптимізації технологічного параметра за критерієм мінімуму сумарних витрат

Завдання для самостійного виконання

За заданими функціями виробничих витрат $Z_v(x)$ та втрат $Z_{втр}(x)$ визначити оптимальне значення регульованого параметра x , що мінімізує сумарні витрати $Z(x) = Z_v(x) + Z_{втр}(x)$; обчислити відповідне мінімальне значення витрат.

Варіант	Процес	$Z_v(x)$	$Z_{втр}(x)$
1	Внесення добрив	$12x$	$3000/x$
2	Захист рослин (норма препарату)	$18x$	$2400/x$
3	Полив (норма поливу)	$8x$	$4000/x$
4	Густота посіву	$5x$	$3500/x$

Питання для самоконтролю

1. Сформулюйте загальну постановку задачі оптимізації технологічного процесу.
2. Які критерії оптимальності застосовуються в задачах рослинництва?
3. Охарактеризуйте основні математичні методи розв'язання задач оптимізації.
4. Які обмеження ресурсів враховуються під час оптимізації технологічних процесів?
5. У чому полягає задача пошуку балансу ефективності та витрат?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 9

Надійність і довговічність технологічних систем

Мета роботи

Дослідити показники надійності й довговічності технологічних систем та оволодіти методикою розрахунку ймовірності безвідмовної роботи.

Питання для самостійного опрацювання

1. Поняття надійності систем
2. Причини відмов і збоїв
3. Ймовірнісні моделі надійності
4. Методи підвищення стабільності
5. Оцінювання ризиків

Методичні рекомендації щодо виконання

Опрацювати ймовірнісні моделі надійності, обчислити ймовірність безвідмовної роботи та середнє напрацювання на відмову для заданого обладнання.

Розрахункові формули

$$R(t) = e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (1)$$

де $R(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи системи за експоненційного закону розподілу напрацювання на відмову (характерний для періоду нормальної експлуатації); λ – інтенсивність відмов (константа для цього періоду), t – час напрацювання.

$$T_{сер} = \int R(t) dt, \quad 0 \dots \infty \quad (2)$$

де $T_{сер}$ - середнє напрацювання на відмову як інтеграл функції надійності за весь час експлуатації системи.

$$Ризик = P(відмови) \cdot V_{наслідків} \quad (3)$$

де *Ризик* - показник очікуваного ризику; *P(відмови)* – ймовірність виникнення відмови за розглядуваний період; *Vнаслідків* – величина очікуваних втрат (у грошовому або натуральному вираженні) у разі настання відмови.

Приклад розрахунку

Технологічна лінія має середню інтенсивність відмов $\lambda = 0,002$ год⁻¹ (період нормальної експлуатації). Імовірність безвідмовної роботи протягом $t = 200$ год: $R(200) = e^{(-0,002 \cdot 200)} = e^{(-0,4)} = 0,670$.

Це означає, що з імовірністю 67% лінія відпрацює 200 годин без відмови; середнє напрацювання на відмову $T_{сер} = 1/\lambda = 500$ год.

Крива інтенсивності відмов технологічної системи (крива життя)

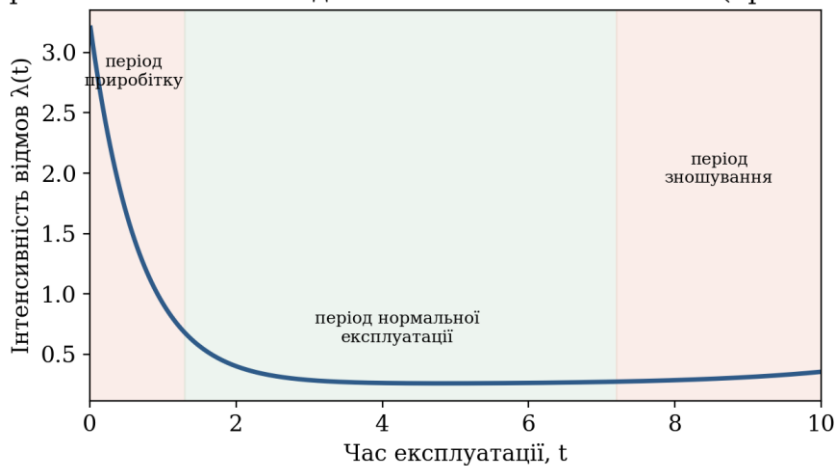


Рисунок 9.1 – Крива інтенсивності відмов технологічної системи протягом життєвого циклу

Завдання для самостійного виконання

За заданою інтенсивністю відмов λ обчислити імовірність безвідмовної роботи технологічної системи (обладнання) протягом заданого періоду t та середнє напрацювання на відмову.

Варіант	Обладнання	λ , год ⁻¹	t , год
1	Технологічна лінія післязбиральної обробки	0,002	200
2	Доїльна установка	0,0015	300
3	Кормороздавач	0,003	150
4	Зерносушарка	0,0025	250

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення надійності технологічної системи та назвіть її складові властивості.
2. Як класифікують відмови технологічних систем за характером виникнення?
3. Опишіть три періоди кривої життя (кривої у формі ванни) інтенсивності відмов.
4. Які методи застосовують для підвищення надійності та стабільності технологічних систем?
5. Як обчислюється показник очікуваного ризику технологічної системи?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 10

Сучасні системи контролю якості в агровиробництві

Мета роботи

Ознайомитися із сучасними системами контролю якості в агровиробництві та оволодіти методикою побудови контрольної карти і розрахунку індексу відтворюваності процесу.

Питання для самостійного опрацювання

1. Системи управління якістю
2. Оперативний контроль процесів
3. Моніторинг технологічних операцій
4. Коригувальні дії
5. Стандартизація процесів

Методичні рекомендації щодо виконання

Ознайомитися з принципами побудови контрольних карт Шухарта, розрахувати контрольні межі UCL/LCL та індекс відтворюваності процесу C_p за наведеними даними.

Розрахункові формули

$$UCL/LCL = \bar{X} \pm A_2 \cdot \bar{R} \quad (1)$$

де UCL/LCL - верхня та нижня контрольні межі контрольної карти Шухарта для середніх значень вибірок; $\bar{X}$ – загальне середнє контрольованого параметра; $\bar{R}$ – середній розмах у вибірках; A_2 – табличний коефіцієнт, що залежить від обсягу вибірки.

$$C_p = (USL - LSL) / (6 \cdot \sigma) \quad (2)$$

де C_p - індекс відтворюваності процесу (process capability); USL, LSL – верхня та нижня межі допуску на контрольований показник; σ – середньоквадратичне відхилення показника процесу. Значення $C_p \geq 1,33$ зазвичай вважається задовільним для стабільного технологічного процесу.

Приклад розрахунку

Контрольований параметр – вологість зерна при закладанні на зберігання. Загальне середнє $\bar{X} = 14,0\%$, середній розмах вибірок $\bar{R} = 0,8\%$, коефіцієнт $A_2 = 0,58$ (для вибірки $n=5$).

Контрольні межі: $UCL = 14,0 + 0,58 \cdot 0,8 = 14,46\%$; $LCL = 14,0 - 0,58 \cdot 0,8 = 13,54\%$.

Індекс відтворюваності за межами допуску $[13,0\%; 15,0\%]$ і $\sigma=0,35\%$: $C_p = (15,0 - 13,0) / (6 \cdot 0,35) = 0,95$ – процес потребує додаткового налагодження, оскільки $C_p < 1,33$.



Рисунок 10.1 – Приклад контрольної карти Шухарта технологічного параметра процесу

Завдання для самостійного виконання

За заданими у варіанті даними (загальне середнє, середній розмах, межі допуску, середньоквадратичне відхилення) розрахувати контрольні межі UCL/LCL контрольної карти та індекс відтворюваності процесу C_p ; зробити висновок про стабільність процесу.

Варіант	Параметр контролю	$\bar{X}$, $\bar{R}$, A_2	USL/LSL, σ
1	Вологість зерна при зберіганні	14,0; 0,8; 0,58	15,0/13,0; 0,35
2	Жирність молока	3,8; 0,25; 0,58	4,2/3,4; 0,12
3	Температура сушіння зерна	60; 3,5; 0,58	65/55; 1,8
4	Вміст білка в комбікормі	18,0; 1,0; 0,58	19,5/16,5; 0,5

Питання для самоконтролю

1. Що таке система управління якістю і на яких принципах вона ґрунтується (цикл PDCA)?
2. У чому різниця між оперативним контролем і моніторингом технологічного процесу?
3. Які коригувальні дії застосовуються за виявлення відхилень параметрів процесу?
4. Яку роль відіграє стандартизація технологічних процесів в управлінні якістю?
5. Що показує індекс відтворюваності процесу C_p і як він обчислюється?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 11

Сучасні підходи до інженерного проєктування машин

Мета роботи

Дослідити сучасні підходи до інженерного проєктування машин та оволодіти методикою економічного обґрунтування вибору інженерного рішення.

Питання для самостійного опрацювання

1. Етапи інженерного проєктування
2. Вибір технічних рішень
3. Аналіз альтернатив
4. Інноваційні підходи
5. Економічне обґрунтування

Методичні рекомендації щодо виконання

Підготувати порівняльний аналіз альтернативних інженерних рішень для заданого об'єкта модернізації, обчислити строки окупності капіталовкладень і обґрунтувати вибір.

Розрахункові формули

$$Ток = K / \Delta\P \quad (1)$$

де *Ток* - строк окупності капітальних вкладень; *K* – обсяг капітальних вкладень у реалізацію технічного рішення; $\Delta\P$ – очікуваний приріст прибутку (або економія витрат) за рік від впровадження рішення.

Приклад розрахунку

Розглядаються два варіанти модернізації лінії: варіант А (капітальні вкладення 250 тис. грн, приріст прибутку 95 тис. грн/рік) і варіант Б (капітальні вкладення 400 тис. грн, приріст прибутку 130 тис. грн/рік).

Строк окупності: $Ток(А) = 250/95 = 2,63$ року; $Ток(Б) = 400/130 = 3,08$ року.

За критерієм мінімального строку окупності варіант А є економічно доцільнішим, однак варіант Б забезпечує більший абсолютний приріст прибутку – остаточний вибір залежить від пріоритетів підприємства (швидкість повернення інвестицій чи довгостроковий ефект).

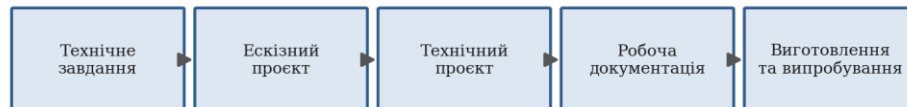


Рисунок 11.1 – Послідовність етапів інженерного проєктування виробничо-технологічної системи

Завдання для самостійного виконання

За заданими у варіанті капітальними вкладеннями та очікуваним приростом прибутку для двох альтернативних інженерних рішень обчислити строки їх окупності та обґрунтувати рекомендований варіант.

Варіант	Об'єкт модернізації	К(А)/ΔП(А)	К(Б)/ΔП(Б)
1	Лінія післязбиральної обробки зерна	250/95	400/130
2	Система приготування кормів	180/70	300/100
3	Доїльне обладнання	220/85	350/115
4	Система зрошення	300/110	500/160

Питання для самоконтролю

1. Перелічіть основні етапи інженерного проєктування виробничої системи.
2. На основі яких критеріїв здійснюється вибір технічного рішення?
3. Які методи застосовують для аналізу альтернативних варіантів рішень?
4. Назвіть приклади інноваційних підходів у сучасному інженерному проєктуванні.
5. Як обчислюється строк окупності капітальних вкладень у технічне рішення?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 12

Конструкційні особливості робочих органів сільськогосподарських машин

Мета роботи

Систематизувати знання про конструкційні особливості робочих органів сільськогосподарських машин та оволодіти перевірочним розрахунком запасу міцності.

Питання для самостійного опрацювання

1. Принципи конструювання машин
2. Класифікація робочих органів
3. Вимоги до конструкцій
4. Матеріали та їх вибір
5. Надійність конструкцій

Методичні рекомендації щодо виконання

Опрацювати вимоги до конструкцій робочих органів машин АПВ, виконати перевірочний розрахунок запасу міцності заданої деталі та обґрунтувати придатність обраного матеріалу.

Розрахункові формули

$$n = \sigma_{gr} / \sigma_{max} \geq [n] \quad (1)$$

де n - умова забезпечення необхідного запасу міцності деталі на етапі конструювання; σ_{gr} – гранично допустиме напруження матеріалу; σ_{max} – максимальне розрахункове напруження в деталі; $[n]$ – нормативний (допустимий) запас міцності.

Приклад розрахунку

Леміш плуга виготовлено зі сталі Л53 ($\sigma_{gr} = 900$ МПа після загартування). Розрахункове напруження в небезпечному перерізі від технологічного навантаження $\sigma_{max} = 380$ МПа.

Запас міцності: $n = 900/380 = 2,37$, що задовольняє нормативну вимогу $[n] = 1,5 \dots 2,5$ для робочих органів ґрунтообробних машин.

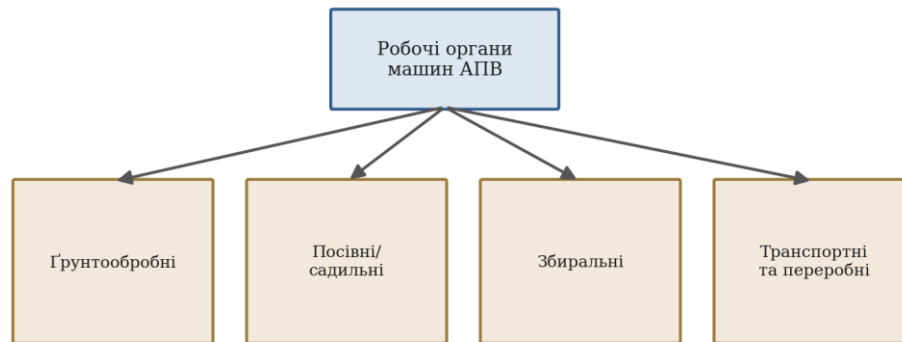


Рисунок 12.1 – Класифікація робочих органів машин аграрного виробництва за технологічним призначенням

Завдання для самостійного виконання

Для заданого робочого органу сільськогосподарської машини (за варіантом) обчислити фактичний запас міцності за наведеними значеннями граничного та розрахункового напружень; порівняти з нормативним значенням і зробити висновок щодо придатності конструкції.

Варіант	Робочий орган	Матеріал / $\sigma_{гр}$, МПа	$\sigma_{тах}$, МПа
1	Леміш плуга	сталь Л53, 900	380
2	Ніж подрібнювача кормів	сталь У8А, 650	310
3	Диск борони	сталь 65Г, 780	340
4	Сошник сівалки	сталь 40Х, 700	290

Питання для самоконтролю

1. Сформулюйте основні принципи конструювання машин для аграрного виробництва.
2. Наведіть класифікацію робочих органів машин АПВ за технологічним призначенням.
3. Які вимоги висуваються до конструкцій машин АПВ?
4. Якими факторами визначається вибір конструкційних матеріалів для деталей машин?
5. Якими заходами забезпечується надійність конструкції машини на етапі проєктування?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 13

Моделювання навантажень і процесів зношування

Мета роботи

Поглибити знання методів моделювання навантажень і процесів зношування робочих органів машин та оволодіти відповідними розрахунками.

Питання для самостійного опрацювання

1. Види навантажень у машинах
2. Механічні моделі навантаження
3. Закономірності зношування
4. Розрахунок міцності
5. Комп'ютерне моделювання

Методичні рекомендації щодо виконання

Дослідити механічні моделі навантаження та закономірності абразивного зношування, виконати розрахунок динамічного напруження та оцінити інтенсивність зношування робочого органу.

Розрахункові формули

$$\sigma_{\text{дин}} = K_d \cdot \sigma_{\text{ст}} \quad (1)$$

де $\sigma_{\text{дин}}$ - розрахункове (динамічне) напруження в елементі конструкції; K_d – коефіцієнт динамічності, що враховує характер прикладення навантаження ($K_d = 1,1 \dots 1,5$ для плавного навантаження, $K_d = 2 \dots 3$ і більше – для ударного); $\sigma_{\text{ст}}$ – статичний еквівалент напруження.

$$I = k \cdot p \cdot L \quad (2)$$

де I - спрощена модель інтенсивності абразивного зношування поверхні робочого органу; k – коефіцієнт зносостійкості матеріалу; p – питомий тиск на поверхні контакту; L – шлях відносного переміщення абразивного середовища по поверхні.

Приклад розрахунку

Робочий орган культиватора зазнає статичного напруження $\sigma_{\text{ст}} = 60$ МПа за коефіцієнта динамічності $K_d = 1,4$ (навантаження з поштовхами при контакті з каменями та коренями).

Розрахункове (динамічне) напруження: $\sigma_{\text{дин}} = 1,4 \cdot 60 = 84$ МПа.

Інтенсивність зношування: $I = k \cdot p \cdot L$; за $k = 2 \cdot 10^{-8}$ мм³/(Н·м) (умовний коефіцієнт для сталі), $p = 0,5$ МПа (питомий тиск), $L = 5000$ м (шлях за зміну зношування становить $I = 0,05$ мм за зміну, що дає змогу прогнозувати ресурс до планового загострення робочого органу).

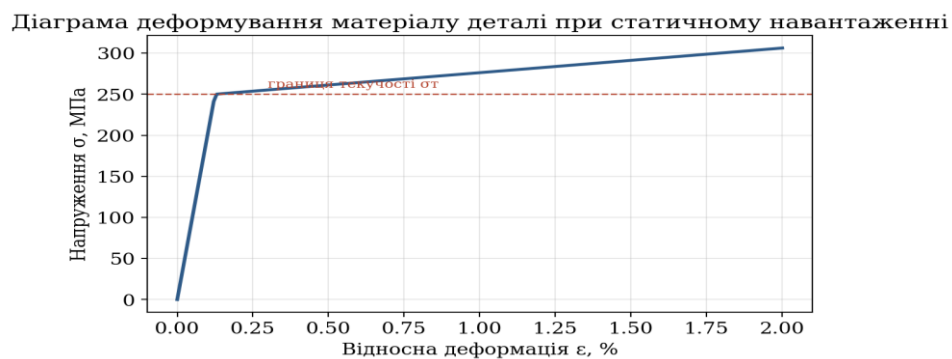


Рисунок 13.1 – Діаграма деформування матеріалу деталі при статичному навантаженні

Завдання для самостійного виконання

За заданими у варіанті значеннями статичного напруження та коефіцієнта динамічності обчислити розрахункове (динамічне) напруження в робочому органі; за наведеними параметрами оцінити інтенсивність абразивного зношування контактної поверхні.

Варіант	Робочий орган	$\sigma_{\text{ст}}$, МПа	K_d
1	Лапа культиватора	60	1,4
2	Ніж різального апарату жатки	45	1,6
3	Зуб бороти	50	1,5
4	Шнек транспортера	35	1,2

Питання для самоконтролю

1. Які види навантажень діють на елементи машин АПВ під час роботи?
2. Опишіть основні механічні моделі навантаження, що застосовуються в розрахунках.
3. Сформулюйте закономірність абразивного зношування робочих органів.
4. З яких етапів складається розрахунок елемента конструкції на міцність?
5. Які можливості надає комп'ютерне моделювання (MSE, DEM) під час аналізу навантажень і робочих процесів?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 14

Аналіз експлуатаційних даних для вдосконалення техніки

Мета роботи

Оволодіти методикою аналізу експлуатаційних даних для вдосконалення конструкцій машин на основі статистичних методів (діаграма Парето, розподіл Вейбулла).

Питання для самостійного опрацювання

1. Аналіз експлуатаційних даних
2. Виявлення конструктивних недоліків
3. Методи модернізації
4. Статистика відмов
5. Підвищення ресурсу машин

Методичні рекомендації щодо виконання

Систематизувати методи статистичного аналізу експлуатаційних даних, побудувати діаграму Парето причин відмов за наведеними даними та обґрунтувати напрями модернізації конструкції.

Розрахункові формули

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta} \quad (1)$$

де $F(t)$ - функція розподілу Вейбулла для напрацювання до відмови; η - параметр масштабу (характерне напрацювання); β - параметр форми ($\beta < 1$ - спадна інтенсивність відмов, $\beta = 1$ - постійна, $\beta > 1$ - зростаюча, що типово для зношування).

Приклад розрахунку

За даними спостереження за 20 машинами протягом сезону зафіксовано відмови: знос робочих органів – 42%, втома матеріалу – 26%, порушення режимів експлуатації – 18%, дефекти виготовлення – 9%, інші причини – 5%.

Побудова діаграми Парето показує, що перші дві причини (знос та втома матеріалу) охоплюють 68% усіх відмов – саме на них варто зосередити першочергові заходи з модернізації конструкції (застосування зносостійких покриттів, зниження концентраторів напружень).

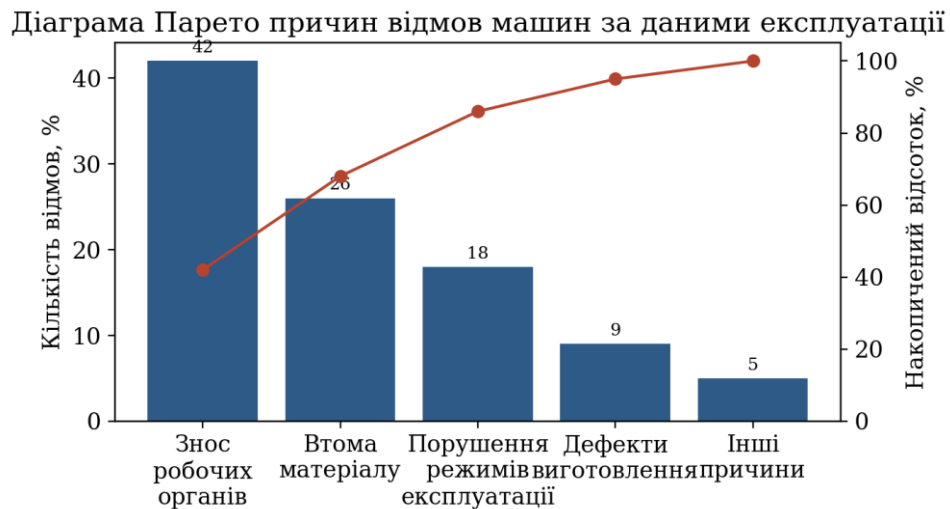


Рисунок 14.1 – Діаграма Парето причин відмов машин за даними експлуатаційних спостережень

Завдання для самостійного виконання

За наведеними у варіанті даними про розподіл причин відмов побудувати діаграму (таблицю) Парето, визначити накопичений відсоток для провідних причин та обґрунтувати першочергові напрями модернізації конструкції машини.

Варіант	Машина	Розподіл причин відмов, %
1	Ґрунтообробна машина	знос 42; втома 26; режими 18; дефекти 9; інші 5
2	Зернозбиральний комбайн	знос 35; засмічення 25; поломки ременів 20; електрика 12; інші 8
3	Кормороздавач	знос шнека 38; поломки редуктора 24; електрика 20; інші 18
4	Доїльна установка	знос гумових деталей 40; засмічення 22; електрика 20; інші 18

Питання для самоконтролю

1. Які джерела даних використовують для аналізу експлуатаційних показників машин?
2. Якими методами виявляють конструктивні недоліки машин за результатами експлуатації?
3. Наведіть приклади методів модернізації конструкції з метою підвищення надійності.
4. Як застосовується розподіл Вейбулла для аналізу статистики відмов?
5. Які заходи сприяють підвищенню ресурсу машин АПВ?

САМОСТІЙНА РОБОТА № 15

Цифрові технології та CAD/CAE у проєктуванні виробничих систем

Мета роботи

Ознайомитися із сучасними цифровими технологіями та підходом CAD/CAE у проєктуванні виробничих систем і оволодіти інтерпретацією результатів інженерного аналізу моделі.

Питання для самостійного опрацювання

1. Цифрові двійники виробничих систем
2. Симуляційне моделювання
3. CAD/CAE технології
4. Інтеграція даних та IoT
5. Цифрова трансформація агроінженерії

Методичні рекомендації щодо виконання

Ознайомитися з можливостями сучасних CAD/CAE систем, підготувати огляд однієї із систем та виконати (описати) розрахунок скінченно-елементної моделі заданої деталі з визначенням запасу міцності.

Розрахункові формули

$$M(y) = (1/N) \cdot \sum y_i, \quad i=1 \dots N \quad (1)$$

де $M(y)$ - оцінка математичного сподівання показника ефективності системи за результатами N реалізацій імітаційної (симуляційної) моделі методом Монте-Карло; y_i – значення показника, отримане в i -й реалізації моделі.

Приклад розрахунку

Побудовано 3D-модель кронштейна кріплення робочого органу культиватора. У CAE-модулі задано навантаження $F=5000$ Н у місці кріплення робочого органу та закріплення в місцях болтового

з'єднання з рамою. Розрахунок методом скінченних елементів виявив максимальне еквівалентне напруження (за Мізесом) $\sigma_{\max} = 210$ МПа в зоні переходу перерізу біля отвору, тоді як границя текучості матеріалу (сталь 40Х) $\sigma_{\text{т}} = 785$ МПа – фактичний запас міцності $n = 785/210 = 3,74$, що є надлишковим і дає підстави для полегшення (оптимізації маси) конструкції кронштейна.

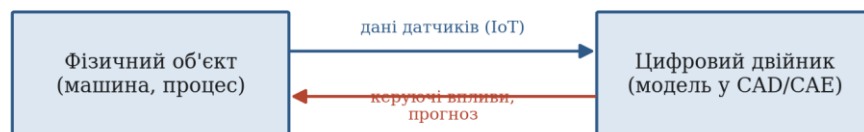


Рисунок 15.1 – Принципова схема взаємодії фізичного об'єкта та його цифрового двійника

Завдання для самостійного виконання

Побудувати параметричну 3D-модель заданої деталі (за варіантом) у CAD-системі, підготувати розрахункову скінченно-елементну модель із заданими навантаженнями та закріпленнями, виконати розрахунок і визначити максимальне еквівалентне напруження та фактичний запас міцності конструкції.

Варіант	Деталь	Навантаження F, Н	Матеріал / $\sigma_{\text{т}}$, МПа
1	Кронштейн кріплення робочого органу культиватора	5000	сталь 40Х / 785
2	Вал-шестерня редуктора приводу	$T=250$ Н·м	сталь 45 / 360
3	Рама причіпного обприскувача	8000 (розподілене)	сталь Ст3 / 245
4	Корпус підшипникового вузла норії	3500	чавун СЧ20 / 200 ($\sigma_{\text{в}}$)

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення цифрового двійника виробничої системи та поясніть принцип його роботи.
2. У чому суть симуляційного моделювання та методу Монте-Карло?
3. Охарактеризуйте можливості CAD- та CAE-систем у проектуванні машин.
4. Яку роль відіграють технології IoT в управлінні якістю виробничих систем?
5. Що передбачає цифрова трансформація агроінженерії на різних етапах життєвого циклу техніки?

Список використаних джерел:

1. Guo D., Wang L., Du Y., Wu Z., Zhang W., Zhi Q., Ma R. Online optimization of adjustable settings for agricultural machinery assisted by digital twin. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 227. Art. 109504. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109504.
2. Rud A. Design and analysis of hydraulic systems for automated agricultural machinery. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2024. Vol. 20, No. 6. P. 121–137. DOI: 10.31548/forest/4.2024.56.
3. Yin Y., Ma B., Meng Z., Chen L., Liu M., Zhang Y., Zhang B., Wen C. Construction method and case study of digital twin system for combine harvester. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 226. Art. 109395. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109395.
4. Laktionov I., Diachenko G., Kashtan V., Vizniuk A., Gorev V., Khabarлак K., Shedlovska Y. A comprehensive review of recent approaches and Hardware-Software technologies for digitalisation and intellectualisation of Open-Field crop Production: Ukrainian case study in the global context. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 225. Art. 109326. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109326.
5. Papadopoulos G., Arduini S., Uyar H., Psiroukis V., Kasimati A., Fountas S. Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review. *Smart Agricultural Technology*. 2024. Vol. 8. Art. 100441. DOI: 10.1016/j.atech.2024.100441.
6. Cheng D., Yao Y., Liu R., Li X., Guan B., Yu F. Precision agriculture management based on a surrogate model assisted multiobjective algorithmic framework. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Art. 1142. DOI: 10.1038/s41598-023-27990-w.
7. Lösch M., Schmidhalter U. Improving the congruency of satellite-based fertilizer maps with field-operable units using pneumatic spreaders. *Precision Agriculture*. 2023. Vol. 24. P. 1312–1332. DOI: 10.1007/s11119-023-09991-x.
8. Zhang S., Ren W., Xie B., Luo Z., Wen C., Chen Z., Zhu Z., Li T. A combined control method of traction and ballast for an electric tractor in ploughing based on load transfer. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. Vol. 207. Art. 107750. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107750.

9. Murillo M., Sánchez G., Deniz N., Genzelis L., Giovanini L. Improving path-tracking performance of an articulated tractor-trailer system using a non-linear kinematic model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 196. Art. 106826. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106826.

10. Cao R., Li S., Ji Y., Zhang Z., Xu H., Zhang M., Li M., Li H. Task assignment of multiple agricultural machinery cooperation based on improved ant colony algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 182. Art. 105993. DOI: 10.1016/j.compag.2021.105993.

11. Сертифікація та підтвердження відповідності : навч. посіб. для здобувачів вищої освіти спец.: 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка/ Р.М. Тріщ, Г.С. Грінченко; Укр. інж.-пед. акад. – Харків: Друкарня Мадрид, 2021. – 227 с.

12. Науково-дослідні основи стандартизації : навч. посіб. для здобувачів вищої освіти ОНС «доктор філософії» денної, вечірньої та заоч. форм здобуття освіти спец. 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / Г. С. Грінченко, Р. М. Тріщ, Ю. А. Даниленко ; Укр. інж.-пед. акад. – Харків : Укр. інж.-пед. акад, 2022. – 253 с.

13. Управління якістю в системі технічного регулювання : навч. посіб. для здобувачів вищої освіти ОНС «доктор філософії» денної, вечірньої та заоч. форм здобуття освіти спец. 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / Р. М. Тріщ, Г. С. Грінченко, В. М. Бурдейна, С. М. Артюх ; Укр. інж.-пед. акад. – Харків : 2022. – 219 с.

14. Fedorovich, O., Lutai, L., Trishch, R., Zabolotnyi, O., Khomiak, E., Nikitin, A. (2024). Models for Reducing the Duration and Cost of the Aviation Equipment Diagnostics Process Using the Decomposition of the Component Architecture of a Complex Product. In: Faure, E., et al. Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 221. P. 108-125. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_9

15. Kukharchuk, V., Vasilevskyi, O., Trishch, R., Holodiuk, V., Koval, A. (2024). Adaptive Algorithms for Quantization Error

Normalization of Digital Encoder-Based Tachometers. In: Faure, E., et al. Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 221. P. 259-269. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_19

16. Babenko, D., Dotsenko, N., & Gorbenko, O. (2024). Study of structural and kinematic characteristics of an energyefficient oil press. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science, 28(3), 41-54. doi: 10.56407/bs.agrarian/2.2024.41.

17. Babenko, D., Dotsenko, N., Gorbenko, O., & Batsurovska, I. (2023). Study of the nature of the movement of the crushed mass on the surface of the sieves of the vegetable and melon seed separator. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science, 27(4), 18-35. doi: 10.56407/bs.agrarian/4.2023.18.

18. Babenko, D., Dotsenko, N., & Gorbenko, O. (2025). Justification of the design parameters of improved equipment for tomato processing. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science, 29(3), 9-22. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/3.2025.09>

19. Babenko, D., Dotsenko, N., Baczurovskaya, I., & Gorbenko, O. (2022). Determination of the parameters of the use of water-lifting equipment in the conditions of livestock farms // Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science, 26(3), 32-46. [https://doi.org/10.56407/2313-092X/2022-26\(3\)-3](https://doi.org/10.56407/2313-092X/2022-26(3)-3)

20. Зубко В. М. Агроінжиніринг : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальностей 208 «Агроінженерія», 202 «Агрономія». Суми : СНАУ, 2022. 468 с. URL: <https://itf.snau.edu.ua/kafedri/ai/metodichna-robota-kafedri-ai/metodichni-vkazivki/>

21. Бабенко Д.В., Доценко Н.А., Горбенко О.А. та ін. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів обладнання для агропромислового виробництва: монографія. Миколаїв, МНАУ, 2026. 236 с.

Навчальне видання

**Управління якістю та оптимізація технологічних
параметрів обладнання в агроінженерії**

Методичні рекомендації

Укладач: **Доценко** Наталія Андріївна

Редактор: Н. А. Доценко

Комп'ютерний набір: Н. А. Доценко

Дизайн і верстка: Н. А. Доценко

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 3,6

Тираж 15 прим. Зам. №_

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету.
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9