

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 практичних 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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1.....	7
Мета роботи.....	7
Теоретичні відомості.....	7
Методика розрахунку.....	7
Приклад розв'язання.....	8
Завдання для самостійного виконання.....	9
Вимоги до оформлення звіту.....	9
Контрольні питання для захисту.....	10
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2.....	11
Мета роботи.....	11
Теоретичні відомості.....	11
Методика розрахунку.....	11
Приклад розв'язання.....	12
Завдання для самостійного виконання.....	12
Вимоги до оформлення звіту.....	13
Контрольні питання для захисту.....	13
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3.....	14
Мета роботи.....	14
Теоретичні відомості.....	14
Методика розрахунку.....	14
Приклад розв'язання.....	15
Завдання для самостійного виконання.....	15
Вимоги до оформлення звіту.....	16
Контрольні питання для захисту.....	16
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4.....	18
Мета роботи.....	18
Теоретичні відомості.....	18
Методика розрахунку.....	18
Приклад розв'язання.....	19
Завдання для самостійного виконання.....	19
Вимоги до оформлення звіту.....	21

Контрольні питання для захисту	21
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5.....	22
Мета роботи	22
Теоретичні відомості.....	22
Методика розрахунку	22
Приклад розв'язання	22
Завдання для самостійного виконання	23
Вимоги до оформлення звіту.....	24
Контрольні питання для захисту	24
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6.....	25
Мета роботи	25
Теоретичні відомості.....	25
Методика розрахунку	25
Приклад розв'язання	25
Завдання для самостійного виконання	26
Вимоги до оформлення звіту.....	27
Контрольні питання для захисту	28
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7.....	29
Мета роботи	29
Теоретичні відомості.....	29
Методика розрахунку	29
Приклад розв'язання	30
Завдання для самостійного виконання	30
Вимоги до оформлення звіту.....	31
Контрольні питання для захисту	32
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8.....	33
Мета роботи	33
Теоретичні відомості.....	33
Методика розрахунку	33
Приклад розв'язання	34
Завдання для самостійного виконання	34
Вимоги до оформлення звіту.....	35
Контрольні питання для захисту	36
Список використаних джерел:	37

ВСТУП

Методичні рекомендації призначені для організації та проведення практичних робіт з навчальної дисципліни «Управління якістю та оптимізація технологічних параметрів обладнання в агроінженерії» і охоплюють вісім практичних робіт, які послідовно відповідають тематиці лекційного курсу дисципліни.

Метою практичних робіт є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях, та формування у здобувачів вищої освіти практичних навичок інженерних розрахунків, пов'язаних з аналізом виробничо-технологічних систем, формуванням технологічних процесів, математичним моделюванням, оцінюванням та контролем якості продукції, а також комплексною оптимізацією режимних параметрів технологічного обладнання агропромислового виробництва.

Кожна практична робота має уніфіковану структуру:

- мета роботи;
- стислі теоретичні відомості, необхідні для виконання розрахунків;
- методика розрахунку з переліком розрахункових формул та поясненням змінних;
- приклад розв'язання типової задачі з повним числовим розрахунком;
- завдання для самостійного виконання за варіантами;
- вимоги до оформлення звіту;
- контрольні питання для захисту роботи.

Номер варіанта завдання для самостійного виконання визначається викладачем або відповідає порядковому номеру здобувача у списку академічної групи. Звіт з практичної роботи оформлюється відповідно до вимог, наведених після завдання кожної роботи, і подається на захист із усною відповіддю на контрольні питання.

Презентація повинна узагальнювати результати виконаних практичних робіт з дисципліни та містити характеристику об'єкта дослідження, визначені показники якості, результати розрахунків, таблиці, графіки, діаграми, технологічні схеми та результати аналізу й оптимізації технологічних параметрів. У презентації необхідно послідовно відобразити результати виконання практичних робіт, показати взаємозв'язок між технологічними параметрами та показниками якості, провести порівняння базового і запропонованого варіантів та обґрунтувати вибір оптимальних режимів роботи обладнання.

Особливу увагу слід приділити практичному застосуванню отриманих результатів, оцінюванню якості технологічного процесу, виявленню причин відхилень та обґрунтуванню заходів щодо їх усунення. Під час захисту студент повинен пояснити методику виконання практичних робіт, обґрунтувати отримані результати, охарактеризувати запропоновані заходи з управління якістю та сформулювати висновки щодо підвищення стабільності й ефективності технологічного процесу.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Тема: АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Мета роботи

Мета роботи – оволодіти методикою визначення структурних елементів виробничо-технологічної системи агроінженерного підприємства та розрахунку основних показників ефективності її функціонування (коефіцієнтів використання часу, технічної готовності, завантаження та узагальненого коефіцієнта ефективності).

Теоретичні відомості

— Виробничо-технологічна система – сукупність технічних засобів, технологічних процесів та обслуговуючого персоналу, поєднаних для отримання заданого виду продукції із заданими показниками якості.

— Рівні організації агроінженерних систем: елемент (робочий орган) → машина (агрегат) → потоково-технологічна лінія → підприємство (виробничий підрозділ) → галузева система.

— Функціональні зв'язки між елементами системи можуть бути послідовними, паралельними та зі зворотним зв'язком; характер зв'язку визначає, яким чином відмова або зниження продуктивності одного елемента впливає на систему в цілому.

— Продуктивність потоково-технологічної лінії, елементи якої з'єднані послідовно, визначається продуктивністю найменш продуктивної ланки – так званого «вузького місця».

Методика розрахунку

$$K_v = T_p / T_{зм} \quad (1.1)$$

де K_v – коефіцієнт використання робочого часу зміни; T_p – час чистої роботи обладнання, хв (год); $T_{зм}$ – тривалість зміни, хв (год).

$$K_g = T_p / (T_p + T_{то} + T_{пр}) \quad (1.2)$$

де K_g – коефіцієнт технічної готовності; $T_{то}$ – час технічного обслуговування, хв; $T_{пр}$ – час простоїв через технічні несправності, хв.

$$K_z = Q_f / Q_n \quad (1.3)$$

де K_z – коефіцієнт завантаження системи; Q_f – фактична продуктивність (обсяг продукції) за зміну; Q_n – номінальна (паспортна) продуктивність за зміну.

$$Q_{\text{сист}} = \min(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \quad (1.4)$$

де $Q_{\text{сист}}$ – продуктивність потоково-технологічної лінії; $Q_1 \dots Q_n$ – продуктивність окремих машин лінії, з'єднаних послідовно.

$$K_{\text{еф}} = K_v \times K_z \times K_g \quad (1.5)$$

де $K_{\text{еф}}$ – узагальнений (мультиплікативний) коефіцієнт ефективності функціонування системи.

Приклад розв'язання

Потоково-технологічна лінія післязбиральної обробки зерна складається з норії продуктивністю 50 т/год, зерноочисної машини – 40 т/год, зерносушарки – 20 т/год та накопичувального бункера. Тривалість зміни $T_{\text{зм}} = 480$ хв, час чистої роботи $T_r = 390$ хв, час технічного обслуговування $T_{\text{то}} = 40$ хв, час простоїв через несправності $T_{\text{пр}} = 20$ хв. Фактично за зміну оброблено $Q_f = 145$ т зерна.

1) Продуктивність лінії лімітується зерносушаркою (найменша ланка): $Q_{\text{сист}} = \min(50; 40; 20) = 20$ т/год.

2) Номінальна продуктивність лінії за зміну: $Q_n = 20$ т/год $\times 8$ год = 160 т/зм.

3) Коефіцієнт використання робочого часу: $K_v = 390 / 480 = 0,8125$.

4) Коефіцієнт технічної готовності: $K_g = 390 / (390 + 40 + 20) = 390 / 450 = 0,867$.

5) Коефіцієнт завантаження: $K_z = 145 / 160 = 0,906$.

6) Узагальнений коефіцієнт ефективності: $K_{\text{еф}} = 0,8125 \times 0,867 \times 0,906 = 0,638$.

Висновок. Ефективність функціонування лінії становить 63,8 %. Лімітуючою ланкою, що визначає продуктивність усієї системи, є зерносушарка – саме на її модернізацію (заміну на агрегат більшої

продуктивності або паралельне встановлення другої сушарки) слід спрямувати першочергові інженерні рішення для підвищення Кеф.

Завдання для самостійного виконання

Для варіанта, вказаного викладачем (табл. 1.1), визначити продуктивність системи (за «вузьким місцем»), номінальну продуктивність за зміну, коефіцієнти K_v , K_g , K_z та узагальнений коефіцієнт ефективності Кеф. Зробити висновок про лімітуючу ланку та запропонувати не менше двох інженерних заходів щодо підвищення Кеф.

№ вар.	Q1, т/год	Q2, т/год	Q3, т/год	Тзм, хв	Тр, хв	Тто, хв	Тпр, хв	Qф, т/зм
1	45	38	18	480	400	35	15	130
2	50	42	22	480	385	45	25	150
3	60	35	20	480	390	40	20	140
4	55	40	25	420	350	40	15	155
5	48	44	19	480	395	30	25	128
6	52	36	21	480	380	50	20	135
7	65	45	24	480	405	35	10	165
8	47	39	17	420	360	35	15	110
9	58	41	23	480	392	42	18	150
10	50	37	16	480	375	45	20	105
11	62	46	26	480	410	38	12	172
12	44	33	15	420	355	40	15	98

Вимоги до оформлення звіту

У звіті навести схему потоково-технологічної лінії з зазначенням продуктивності кожної ланки, повний розрахунок за формулами (1.1)–(1.5) та обґрунтовані пропозиції щодо підвищення ефективності.

Контрольні питання для захисту

1. Дайте визначення виробничо-технологічної системи та назвіть її основні складові.
2. Охарактеризуйте рівні організації агроінженерних систем.
3. Які типи функціональних зв'язків можуть існувати між елементами системи?
4. Що таке «вузьке місце» технологічної лінії і як воно впливає на її продуктивність?
5. Як визначається коефіцієнт технічної готовності обладнання і від чого він залежить?
6. Що показує коефіцієнт завантаження системи та які значення вважаються прийнятними?
7. У чому полягає роль агроінженерії у формуванні виробничих систем аграрного підприємства?
8. Запропонуйте не менше трьох інженерних та організаційних шляхів підвищення узагальненого коефіцієнта ефективності системи.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Тема: РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА (НА ПРИКЛАДІ СУШІННЯ)

Мета роботи

Мета роботи – оволодіти методикою розрахунку режимних параметрів технологічної операції сушіння зерна: кількості видаленої вологи, витрат теплоти та продуктивності сушарки в перерахунку на планові одиниці.

Теоретичні відомості

— Технологічний процес складається з операцій, переходів і прийомів; сушіння зерна – технологічна операція, метою якої є зниження вологості зернового матеріалу до рівня, що забезпечує безпечне зберігання.

— Основні режимні параметри операції сушіння: температура теплоносія, витрата теплоносія, тривалість сушіння, початкова та кінцева вологість зерна.

— Продуктивність зерносушарок традиційно приводять до умовної («планової») одиниці – зниження вологості на 6 в.п. (відсоткових пунктів), що дозволяє порівнювати сушарки, які працюють у різних вологісних режимах.

Методика розрахунку

$$W = G1 \times (w1 - w2) / (100 - w2) \quad (2.1)$$

де W – маса вологи, що видаляється при сушінні, кг; $G1$ – маса зерна до сушіння, кг; $w1, w2$ – вологість зерна до і після сушіння, %.

$$G2 = G1 - W \quad (2.2)$$

де $G2$ – маса зерна після сушіння, кг.

$$Q = W \times r \quad (2.3)$$

де Q – витрати теплоти на випаровування вологи, кДж; r – питома теплота випаровування вологи із зерна, $r \approx 2500$ кДж/кг (орієнтовно 2300–2600 кДж/кг залежно від форми зв'язку вологи з матеріалом).

$$Q_{пл} = Q_{ф} \times (w1 - w2) / 6 \quad (2.4)$$

де $Q_{пл}$ – продуктивність сушарки в перерахунку на планові одиниці, т/год; $Q_{ф}$ – фактична продуктивність сушарки, т/год.

Приклад розв'язання

Партія пшениці масою $G_1 = 50\,000$ кг має початкову вологість $w_1 = 19\%$, потрібно висушити зерно до кінцевої вологості $w_2 = 14\%$. Фактична продуктивність сушарки $Q_{ф} = 8$ т/год.

1) Маса видаленої води: $W = 50\,000 \times (19 - 14) / (100 - 14) = 50\,000 \times 5 / 86 = 2907$ кг.

2) Маса висушеного зерна: $G_2 = 50\,000 - 2907 = 47\,093$ кг $\approx 47,1$ т.

3) Витрати теплоти на випаровування води: $Q = 2907 \times 2500 = 7\,267\,500$ кДж $\approx 7267,5$ МДж ($\approx 2018,8$ кВт·год).

4) Продуктивність сушарки у планових одиницях: $Q_{пл} = 8 \times (19 - 14) / 6 = 8 \times 5 / 6 = 6,67$ т/год (планових).

Висновок. Для видалення 2907 кг води з партії зерна потрібно близько 7268 МДж теплоти; фактична продуктивність 8 т/год фізичного зерна відповідає 6,67 т/год у планових одиницях, що є коректною базою для порівняння з паспортною продуктивністю сушарки (яка зазвичай наводиться саме для зниження вологості на 6 в.п.).

Завдання для самостійного виконання

Для заданого варіанта (табл. 2.1) визначити масу видаленої води W , масу висушеного зерна G_2 , витрати теплоти Q (у кДж, МДж та кВт·год) та продуктивність сушарки у планових одиницях $Q_{пл}$.

№ вар.	Культура	G_1 , т	w_1 , %	w_2 , %	$Q_{ф}$, т/год
1	пшениця	40	20	14	6
2	ячмінь	35	18	13	7
3	кукурудза	60	26	14	10
4	соняшник	25	12	7	5
5	жито	45	19	14	6.5

№ вар.	Культура	G1, т	w1, %	w2, %	Qф, т/год
6	пшениця	55	22	14	9
7	горох	30	17	15	4.5
8	овес	38	20	13	6
9	кукурудза	50	24	14	8
10	ріпак	20	10	7	3
11	пшениця	48	18	14	7.5
12	ячмінь	42	17	14	6.8

Вимоги до оформлення звіту

У звіті навести повний розрахунок за формулами (2.1)–(2.4) із зазначенням розмірностей, а також оцінити орієнтовний час сушіння партії за паспортною продуктивністю сушарки, прийнятою самостійно (з обґрунтуванням джерела).

Контрольні питання для захисту

1. Дайте визначення технологічного процесу, операції, переходу та прийому.
2. Які режимні параметри характеризують операцію сушіння зерна?
3. Чому продуктивність зерносушарок приводять до планових одиниць (зниження вологості на 6 в.п.)?
4. Від чого залежить питома теплота випаровування води із зернового матеріалу?
5. Які негативні наслідки може мати завищена температура теплоносія при сушінні?
6. Як пов'язані технологічні параметри сушіння з якістю кінцевого продукту?
7. Назвіть основні види технологічних впливів на предмет праці в агроінженерії.
8. Поясніть різницю між виробничим і технологічним процесом на прикладі лінії післязбиральної обробки зерна.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Тема: СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ: РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ ТА ПОКАЗНИКІВ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ

Мета роботи

Мета роботи – оволодіти методикою побудови структурно-функціональної схеми технологічного процесу як системи «вхід – перетворення – вихід» та розрахунку матеріального балансу з урахуванням втрат і зворотних зв'язків (рециркуляції).

Теоретичні відомості

— Системний аналіз розглядає технологічний процес як систему з визначеними входами (сировина, енергія, інформація), перетворювачем (обладнання, режим роботи) та виходами (готова продукція, відходи, втрати).

— Зворотний зв'язок – це підсистема, яка повертає частину вихідного потоку (наприклад, недостатньо очищену фракцію) на повторну обробку; наявність зворотних зв'язків ускладнює розрахунок системи, але підвищує якість кінцевого результату.

— Декомпозиція складного виробничого процесу передбачає його поділ на простіші підсистеми (операції), для кожної з яких можна скласти окремий матеріальний баланс.

— Матеріальний баланс базується на законі збереження маси: сума всіх вихідних потоків (продукції, відходів, втрат) дорівнює масі вхідного потоку сировини.

Методика розрахунку

$$G_{вх} = G_{вих} + G_{від} + G_{втр} \quad (3.1)$$

де $G_{вх}$ – маса сировини на вході в систему (операцію), кг (т); $G_{вих}$ – маса готової (кондиційної) продукції на виході, кг (т); $G_{від}$ – маса відходів (домішок, некондиційної фракції), кг (т); $G_{втр}$ – технологічні втрати (пил, розпил тощо), кг (т).

$$K_{в.п} = (G_{вих} / G_{вх}) \times 100 \% \quad (3.2)$$

де $K_{в.п}$ – коефіцієнт виходу продукції, %.

$$K_p = G_{рец} / G_{вх} \quad (3.3)$$

де K_p – коефіцієнт (ступінь) рециркуляції; $G_{\text{рец}}$ – маса потоку, що повертається на повторну обробку через зворотний зв'язок, кг (т).

Приклад розв'язання

На операцію очищення зерна надходить $G_{\text{вх}} = 20\,000$ кг вороху. За результатами обробки отримано $G_{\text{вих}} = 18\,400$ кг кондиційного зерна, відходи (велике і дрібне сміття) становлять $G_{\text{від}} = 1200$ кг, технологічні втрати (розпил) – $G_{\text{втр}} = 400$ кг. Дрібна фракція масою $G_{\text{рец}} = 600$ кг (частина виходу, недостатньо очищена) повертається через зворотний зв'язок на повторне очищення.

1) Перевірка матеріального балансу: $G_{\text{вих}} + G_{\text{від}} + G_{\text{втр}} = 18\,400 + 1200 + 400 = 20\,000$ кг = $G_{\text{вх}}$ – баланс сходиться.

2) Коефіцієнт виходу продукції: $K_{\text{в.п}} = (18\,400 / 20\,000) \times 100\% = 92\%$.

3) Коефіцієнт рециркуляції: $K_p = 600 / 20\,000 = 0,03$, тобто 3 %.

Висновок. Операція очищення забезпечує вихід кондиційної продукції на рівні 92 % при частці рециркуляційного потоку 3 %. Зростання K_p понад 5–7 % зазвичай свідчить про необхідність перегляду режимних параметрів очисної машини (швидкості повітряного потоку, характеристик сит).

Завдання для самостійного виконання

Для заданого варіанта (табл. 3.1) визначити відсутню складову матеріального балансу (позначену «–»), перевірити баланс, розрахувати $K_{\text{в.п}}$ та K_p . Побудувати структурно-функціональну схему операції із зазначенням усіх потоків.

№ вар.	Операція	$G_{\text{вх}}$, кг	$G_{\text{вих}}$, кг	$G_{\text{від}}$, кг	$G_{\text{втр}}$, кг	$G_{\text{рец}}$, кг
1	очищення зерна	15000	13700	–	300	450
2	сортування насіння	8000	–	550	150	200

№ вар.	Операція	G _{вх} , кг	G _{вих} , кг	G _{від} , кг	G _{втр} , кг	G _{рец} , кг
3	подрібнення кормів	5000	4750	200	—	100
4	очищення зерна	25000	22900	1700	—	700
5	калібрування насіння	6000	5400	—	120	180
6	очищення зерна	18000	—	1300	350	500
7	сепарація зерна	12000	11000	800	—	300
8	очищення зерна	30000	27600	2000	—	900
9	сортування картоплі	10000	9200	—	300	250
10	подрібнення зерна	7000	6650	250	—	150
11	очищення насіння	9000	—	650	180	220
12	очищення зерна	22000	20200	1500	—	600

Вимоги до оформлення звіту

У звіті обов'язково навести структурно-функціональну схему операції (прямокутники – підсистеми, стрілки – матеріальні потоки, окремо виділити лінію зворотного зв'язку) та повний числовий розрахунок з перевіркою балансу.

Контрольні питання для захисту

1. У чому суть системного підходу до аналізу виробничого процесу?

2. Назвіть основні вхідні та вихідні параметри технологічної системи.
3. Що таке зворотний зв'язок у технологічній системі та навіщо він потрібний?
4. Поясніть принцип декомпозиції складного виробничого процесу.
5. Сформулюйте закон збереження маси стосовно матеріального балансу технологічної операції.
6. Про що свідчить високий коефіцієнт рециркуляції в системі?
7. Якими методами оцінюється ефективність технологічних систем?
8. Наведіть приклад технологічної операції аграрного виробництва з паралельними та з послідовними зв'язками елементів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Тема: ПОБУДОВА ДЕТЕРМІНОВАНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МЕТОДОМ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

Мета роботи

Мета роботи – оволодіти методикою побудови однофакторної лінійної регресійної (детермінованої) моделі залежності продуктивності обладнання від режимного параметра та оцінки її адекватності.

Теоретичні відомості

— Математична модель – формалізований, спрощений опис реального технологічного процесу за допомогою математичних співвідношень, що зв'язують вхідні (незалежні) та вихідні (залежні) змінні.

— Детерміновані моделі описують процес однозначною функціональною залежністю (наприклад, лінійною регресією); стохастичні моделі враховують випадковий розкид значень і використовують імовірнісні характеристики.

— Побудова емпіричної моделі за експериментальними даними здійснюється методом найменших квадратів, який мінімізує суму квадратів відхилень експериментальних точок від модельної лінії.

— Адекватність побудованої моделі оцінюється коефіцієнтом кореляції r : чим ближче $|r|$ до 1, тим тісніший лінійний зв'язок між змінними.

Методика розрахунку

$$Q = a + b \times n \quad (4.1)$$

де Q – продуктивність обладнання (вихідна змінна); n – значення режимного параметра (вхідна змінна), наприклад частота обертання; a , b – коефіцієнти регресійної моделі.

$$b = (N \cdot \Sigma(x \cdot y) - \Sigma x \cdot \Sigma y) / (N \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2) \quad (4.2)$$

де N – кількість дослідних точок; x – значення вхідної змінної (аргументу); y – значення вихідної змінної (функції).

$$a = (\Sigma y - b \cdot \Sigma x) / N \quad (4.3)$$

$$r = (N \cdot \Sigma xy - \Sigma x \cdot \Sigma y) / \sqrt{[(N \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2) \cdot (N \cdot \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2)]} \quad (4.4)$$

де r – коефіцієнт кореляції.

Приклад розв'язання

У результаті однофакторного експерименту отримано залежність продуктивності Q (кг/год) кормозмішувача від частоти обертання робочого органу n (об/хв):

n , об/хв	800	1000	1200	1400	1600
Q , кг/год	120	150	175	205	230

1) Проміжні суми ($N = 5$): $\Sigma x = 6000$; $\Sigma y = 880$; $\Sigma xy = 1\,111\,000$; $\Sigma x^2 = 7\,600\,000$; $\Sigma y^2 = 162\,450$.

2) Коефіцієнт b : $b = (5 \times 1\,111\,000 - 6000 \times 880) / (5 \times 7\,600\,000 - 6000^2) = (5\,555\,000 - 5\,280\,000) / (38\,000\,000 - 36\,000\,000) = 275\,000 / 2\,000\,000 = 0,1375$.

3) Коефіцієнт a : $a = (880 - 0,1375 \times 6000) / 5 = (880 - 825) / 5 = 11$.

4) Модель: $Q = 11 + 0,1375 \cdot n$.

5) Коефіцієнт кореляції: $r = 275\,000 / \sqrt{(2\,000\,000 \times 37\,850)} \approx 275\,000 / 275\,136 \approx 0,9995$.

6) Прогноз продуктивності при $n = 1800$ об/хв: $Q = 11 + 0,1375 \times 1800 = 258,5$ кг/год.

Висновок. Отримана модель $Q = 11 + 0,1375 \cdot n$ має дуже високий коефіцієнт кореляції ($r \approx 0,9995$), що свідчить про практично лінійну залежність продуктивності від частоти обертання у дослідженому діапазоні та дозволяє використовувати модель для прогнозування продуктивності поза межами експерименту з обережністю (екстраполяція).

Завдання для самостійного виконання

За заданим варіантом експериментальних даних (табл. 4.1) побудувати лінійну регресійну модель $Q = a + b \cdot n$, розрахувати

коефіцієнт кореляції r та спрогнозувати продуктивність при значенні n , вказаному у стовпці «Прогноз».

№ вар.	Дані n (об/хв)	Дані Q	Прогноз n , об/хв
1	600; 800; 1000; 1200; 1400	80; 105; 128; 155; 178	1600
2	500; 750; 1000; 1250; 1500	60; 92; 121; 150; 182	1750
3	700; 900; 1100; 1300; 1500	95; 118; 140; 165; 190	1700
4	400; 600; 800; 1000; 1200	40; 68; 95; 120; 148	1400
5	900; 1100; 1300; 1500; 1700	130; 152; 178; 200; 226	1900
6	550; 800; 1050; 1300; 1550	70; 100; 132; 160; 190	1800
7	650; 850; 1050; 1250; 1450	88; 110; 133; 158; 180	1650
8	500; 700; 900; 1100; 1300	55; 80; 108; 132; 158	1500
9	800; 1000; 1200; 1400; 1600	110; 135; 160; 188; 212	1800

№ вар.	Дані p (об/хв)	Дані Q	Прогноз p, об/хв
10	450; 650; 850; 1050; 1250	48; 74; 100; 126; 150	1450
11	600; 850; 1100; 1350; 1600	75; 105; 135; 165; 195	1850
12	700; 950; 1200; 1450; 1700	90; 120; 150; 180; 210	1950

Вимоги до оформлення звіту

У звіті навести таблицю проміжних розрахунків (Σx , Σy , Σxy , Σx^2 , Σy^2), рівняння моделі, значення r , графік експериментальних точок з нанесеною лінією регресії (побудований у будь-якому доступному програмному засобі) та прогнозне значення.

Контрольні питання для захисту

1. Дайте визначення математичної моделі виробничого процесу.
2. У чому відмінність детермінованих моделей від стохастичних?
3. Поясніть сутність методу найменших квадратів.
4. Що показує коефіцієнт кореляції і які значення свідчать про тісний зв'язок?
5. Які вхідні та вихідні змінні можуть використовуватися при моделюванні технологічного обладнання?
6. Опишіть узагальнений алгоритм побудови математичної моделі виробничого процесу.
7. Які ризики пов'язані з екстраполяцією регресійної моделі поза межі експериментальних даних?
8. Наведіть приклади нелінійних моделей, які можуть застосовуватися в агроінженерії, і поясніть, чому лінійна модель не завжди прийнятна.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Тема: РОЗРАХУНОК КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ МЕТОДОМ СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНОГО

Мета роботи

Мета роботи – оволодіти методикою розрахунку комплексного (узагальненого) показника якості продукції на основі одиничних нормованих показників із заданими ваговими коефіцієнтами.

Теоретичні відомості

— Якість продукції – сукупність властивостей, що визначають її придатність задовольняти певні потреби відповідно до призначення.

— Одиничний показник якості характеризує одну властивість продукції (наприклад, вологість, засміченість, натуру, схожість насіння); комплексний показник узагальнює декілька одиничних показників в один інтегральний критерій.

— Для розрахунку комплексного показника одиничні показники приводять до безрозмірного (нормованого) вигляду $P_i \in [0; 1]$, де 1 відповідає найкращому (еталонному) значенню показника, після чого застосовують метод середньозваженого з ваговими коефіцієнтами значущості m_i .

— Методи контролю якості поділяють на суцільний та вибірковий (статистичний) контроль; стандарти й нормативи (ДСТУ, технічні умови) встановлюють допустимі межі показників якості.

Методика розрахунку

$$K_y = \sum (P_i \times m_i), \quad \sum m_i = 1 \quad (5.1)$$

де K_y – комплексний показник якості продукції; P_i – нормоване значення i -го одиничного показника якості ($0 \dots 1$); m_i – коефіцієнт вагомості (значущості) i -го показника.

Приклад розв'язання

Оцінюється якість партії зерна пшениці за чотирма одиничними показниками, нормованими відносно нормативних

вимог: вологість $P1 = 0,85$ (мвага $m1 = 0,30$), засміченість $P2 = 0,90$ ($m2 = 0,20$), натура $P3 = 0,80$ ($m3 = 0,20$), схожість $P4 = 0,95$ ($m4 = 0,30$).

1) Перевірка суми вагових коефіцієнтів: $m1+m2+m3+m4 = 0,30+0,20+0,20+0,30 = 1,00$ – умова виконується.

2) Комплексний показник якості: $Kя = 0,30 \times 0,85 + 0,20 \times 0,90 + 0,20 \times 0,80 + 0,30 \times 0,95 = 0,255 + 0,180 + 0,160 + 0,285 = 0,880$.

Висновок. Комплексний показник якості партії зерна $Kя = 0,88$ (88 %), що відповідає високому рівню якості. Найбільший внесок у показник забезпечує схожість насіння (0,285) завдяки одночасно високому одиничному показнику і найбільшій вазі значущості.

Завдання для самостійного виконання

Для заданого варіанта (табл. 5.1) перевірити коректність вагових коефіцієнтів ($\sum m_i = 1$) та розрахувати комплексний показник якості продукції $Kя$. Визначити, який одиничний показник вносить найбільший і найменший внесок у результат.

№ вар.	P1 (m1)	P2 (m2)	P3 (m3)	P4 (m4)
1	0,90 (0,25)	0,85 (0,25)	0,75 (0,25)	0,95 (0,25)
2	0,80 (0,35)	0,88 (0,15)	0,92 (0,20)	0,78 (0,30)
3	0,95 (0,20)	0,70 (0,30)	0,85 (0,25)	0,90 (0,25)
4	0,88 (0,30)	0,92 (0,20)	0,80 (0,25)	0,85 (0,25)
5	0,75 (0,25)	0,95 (0,25)	0,90 (0,25)	0,80 (0,25)
6	0,82 (0,30)	0,78 (0,20)	0,95 (0,20)	0,88 (0,30)
7	0,91 (0,20)	0,84 (0,30)	0,79 (0,25)	0,93 (0,25)

№ вар.	P1 (m1)	P2 (m2)	P3 (m3)	P4 (m4)
8	0,86 (0,25)	0,90 (0,25)	0,83 (0,25)	0,77 (0,25)
9	0,79 (0,35)	0,88 (0,15)	0,94 (0,25)	0,81 (0,25)
10	0,93 (0,20)	0,76 (0,20)	0,89 (0,30)	0,85 (0,30)
11	0,87 (0,30)	0,82 (0,30)	0,91 (0,20)	0,74 (0,20)
12	0,96 (0,25)	0,81 (0,25)	0,87 (0,25)	0,90 (0,25)

Вимоги до оформлення звіту

У звіті навести перелік одиничних показників з їхнім фізичним змістом (для конкретного виду продукції, обраного студентом), методику їх нормування (приведення до шкали 0...1) та повний розрахунок комплексного показника якості.

Контрольні питання для захисту

1. Дайте визначення поняття «якість продукції».
2. Чим відрізняються кількісні показники якості від якісних?
3. У чому полягає метод середньозваженого при розрахунку комплексного показника якості?
4. Як здійснюється нормування одиничних показників якості до безрозмірного вигляду?
5. Які методи контролю якості продукції застосовуються в агровиробництві?
6. Яку роль відіграють стандарти та нормативи (ДСТУ) у системах оцінювання якості?
7. Що станеться з комплексним показником якості, якщо один з одиничних показників дорівнює нулю?
8. Наведіть приклад системи оцінювання якості для продукції тваринництва.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Тема: ПОБУДОВА КОНТРОЛЬНОЇ КАРТИ ШУХАРТА ($\bar{X}$ -R) ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПАРАМЕТРА

Мета роботи

Мета роботи – оволодіти методикою побудови контрольних карт середніх значень і розмахів ($\bar{X}$ -R карт) для статистичного контролю стабільності технологічного процесу та визначення необхідності коригувальних дій.

Теоретичні відомості

— Система управління якістю передбачає не лише контроль готової продукції, а й оперативний (поточний) контроль технологічних параметрів безпосередньо у процесі виробництва.

— Контрольні карти Шухарта – інструмент статистичного контролю процесу, що дозволяє відрізнити випадкову (природну) варіативність параметра від варіативності, спричиненої особливими (усувними) причинами.

— Контрольована характеристика вимірюється підгрупами (вибірками) фіксованого обсягу n через рівні проміжки часу; для кожної підгрупи розраховують середнє $\bar{X}$ і розмах R .

— Вихід точки за контрольні межі або систематичні тренди на карті сигналізують про розлагодження процесу і є підставою для коригувальних дій.

Методика розрахунку

$$\bar{\bar{X}} = \Sigma \bar{X}_i / k, \quad \bar{R} = \Sigma R_i / k \quad (6.1)$$

де $\bar{\bar{X}}$ – загальне середнє (центральна лінія $\bar{X}$ -карти); $\bar{R}$ – середній розмах (центральна лінія R-карти); k – кількість підгруп.

$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}, \quad LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (6.2)$$

де UCL_x , LCL_x – верхня та нижня контрольні межі $\bar{X}$ -карти; A_2 – коефіцієнт, що залежить від обсягу підгрупи n (для $n = 5$: $A_2 = 0,577$).

$$UCL_r = D_4 \cdot \bar{R}, \quad LCL_r = D_3 \cdot \bar{R} \quad (6.3)$$

де UCL_r , LCL_r – контрольні межі R-карти; D_4 , D_3 – коефіцієнти (для $n = 5$: $D_4 = 2,114$; $D_3 = 0$).

Приклад розв'язання

Контролюється вологість зерна на виході із зерносушарки (номінал 14 %). Кожні 30 хв відбирають підгрупу з $n = 5$ вимірювань. Отримано 5 підгруп:

№ підгрупи	1	2	3	4	5
$\bar{X}_i, \%$	14,00	14,00	14,00	14,06	13,90
$R_i, \%$	0,4	0,6	0,4	0,7	0,4

1) Загальне середнє: $\bar{\bar{X}} = (14,00+14,00+14,00+14,06+13,90)/5 = 69,96/5 = 13,99 \%$.

2) Середній розмах: $\bar{R} = (0,4+0,6+0,4+0,7+0,4)/5 = 2,5/5 = 0,50 \%$.

3) Межі $\bar{X}$ -карти ($A_2 = 0,577$): $UCL_x = 13,99 + 0,577 \times 0,50 = 14,28 \%$; $LCL_x = 13,99 - 0,289 = 13,70 \%$.

4) Межі R-карти ($D_4 = 2,114$; $D_3 = 0$): $UCL_r = 2,114 \times 0,50 = 1,06 \%$; $LCL_r = 0$.

5) Усі значення $\bar{X}_i$ та R_i потрапляють у межі $[LCL_x; UCL_x]$ і $[LCL_r; UCL_r]$ відповідно – процес перебуває у статистично керованому стані.

Висновок. Оскільки жодна точка не виходить за контрольні межі та відсутні систематичні тренди, процес сушіння визнається стабільним і коригувальні дії не потрібні. У разі виходу точки за межі слід зупинити процес, виявити особливу причину (несправність датчика температури, нерівномірність подачі зерна тощо) і усунути її перед відновленням роботи.

Завдання для самостійного виконання

Для заданого варіанта (табл. 6.1), використовуючи наведені значення $\bar{\bar{X}}$ і $\bar{R}$ (розраховані за п'ятьма підгрупами обсягом $n = 5$), визначити межі UCL_x , LCL_x , UCL_r , LCL_r . Побудувати контрольну карту ($\bar{X}$ - та R-карту) та зробити висновок про стабільність процесу, якщо додатково задано максимальне зафіксоване значення $\bar{X}_{\max}$.

№ вар.	Контрольований параметр	$\bar{X}$	$\bar{R}$	$\bar{X}_{\max}$ (перевірка)
1	вологість зерна, %	14	0.5	14.3
2	температура теплоносія, °C	60	3	65
3	натура зерна, г/л	750	12	768
4	вологість комбікорму, %	13	0.6	13.9
5	температура зберігання, °C	4	0.8	6
6	розмір частинок, мм	2.5	0.3	3.1
7	вологість зерна, %	15	0.4	15.5
8	тиск у системі, МПа	0.6	0.05	0.7
9	засміченість, %	1.2	0.2	1.7
10	натура зерна, г/л	730	10	745
11	температура теплоносія, °C	55	2.5	60
12	вологість зерна, %	14.5	0.45	15

Вимоги до оформлення звіту

У звіті навести таблицю вихідних даних по підгрупах (для власного варіанта дозволяється самотійно згенерувати 5 підгруп по 5 вимірювань, середнє яких відповідає заданому $\bar{X}$), розрахунок меж, побудовану $\bar{X}$ -R карту та обґрунтований висновок щодо стабільності процесу і необхідності коригувальних дій.

Контрольні питання для захисту

1. Що таке контрольна карта Шухарта і яку задачу вона вирішує?
2. Чим відрізняється випадкова варіативність процесу від варіативності через особливі причини?
3. Як розраховуються центральна лінія та контрольні межі $\bar{X}$ -карти?
4. Яку інформацію дає R-карта на відміну від $\bar{X}$ -карти?
5. Які ознаки на контрольній карті свідчать про розлагодження процесу, окрім виходу точки за межі?
6. Опишіть типовий алгоритм коригувальних дій при виявленні розлагодження процесу.
7. Яка різниця між оперативним контролем процесу та моніторингом технологічних операцій?
8. Як стандартизація процесів пов'язана із системами управління якістю на підприємстві?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

Тема: РОЗРАХУНОК ВПЛИВУ РЕЖИМНОГО ПАРАМЕТРА ОБЛАДНАННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ПИТОМІ ВИТРАТИ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи

Мета роботи – оволодіти методикою розрахунку продуктивності, потужності приводу та питомих витрат енергії подрібнювача кормів залежно від частоти обертання робочого органу, а також визначення тенденції до оптимального режиму.

Теоретичні відомості

— Технологічні параметри (швидкість, частота обертання, подача матеріалу, потужність) визначають інтенсивність технологічного впливу; їх зміна одночасно впливає на продуктивність, якість обробки та енерговитрати.

— Зростання частоти обертання робочого органу подрібнювача, як правило, підвищує продуктивність, проте супроводжується зростанням потужності приводу, зношування робочих органів та може погіршувати гранулометричний склад продукту.

— Потужність приводу машини складається із потужності холостого ходу (витрати на подолання тертя в передачах за відсутності навантаження) та навантажувальної складової, пропорційної продуктивності.

— Оптимальне значення режимного параметра обирають не лише за критерієм мінімуму питомих витрат енергії, а й з урахуванням допустимих значень показників якості (наприклад, однорідності фракції) та ресурсу робочих органів.

Методика розрахунку

$$Q = k \times n \times D^2 \quad (7.1)$$

де Q – продуктивність подрібнювача, т/год; k – конструктивний коефіцієнт машини (визначається експериментально); n – частота обертання робочого органу, об/хв; D – діаметр робочого органу (ротора), м.

$$N = N_{xx} + k_2 \times Q \quad (7.2)$$

де N – потужність приводу, кВт; N_{xx} – потужність холостого ходу, кВт; k_2 – питомі витрати енергії на одиницю продуктивності, кВт·год/т.

$$N_{\text{пит}} = N / Q \quad (7.3)$$

де $N_{\text{пит}}$ – питомі витрати енергії на одиницю продукції, кВт·год/т.

Приклад розв'язання

Для подрібнювача кормів прийнято: конструктивний коефіцієнт $k = 0,02$, діаметр ротора $D = 0,4$ м ($D^2 = 0,16$), потужність холостого ходу $N_{xx} = 3$ кВт, питомі витрати $k_2 = 2,5$ кВт·год/т. Розрахувати Q , N та $N_{\text{пит}}$ при $n = 500, 1000$ та 1500 об/хв.

$n = 500$ об/хв: $Q = 0,02 \times 500 \times 0,16 = 1,60$ т/год; $N = 3 + 2,5 \times 1,60 = 7,00$ кВт; $N_{\text{пит}} = 7,00 / 1,60 = 4,375$ кВт·год/т.

$n = 1000$ об/хв: $Q = 0,02 \times 1000 \times 0,16 = 3,20$ т/год; $N = 3 + 2,5 \times 3,20 = 11,00$ кВт; $N_{\text{пит}} = 11,00 / 3,20 = 3,438$ кВт·год/т.

$n = 1500$ об/хв: $Q = 0,02 \times 1500 \times 0,16 = 4,80$ т/год; $N = 3 + 2,5 \times 4,80 = 15,00$ кВт; $N_{\text{пит}} = 15,00 / 4,80 = 3,125$ кВт·год/т.

Висновок. У дослідженому діапазоні (500–1500 об/хв) питомі витрати енергії монотонно знижуються з ростом частоти обертання (за рахунок «розмивання» постійної складової N_{xx} на більший обсяг продукції). Проте це не означає, що $n = 1500$ об/хв – оптимальне рішення: подальше підвищення частоти обмежується допустимим зношуванням робочих органів, вібраційним навантаженням та вимогами до однорідності гранулометричного складу корму, що визначено в лекційному матеріалі як біологічні та технологічні обмеження процесу. Остаточний вибір n повинен враховувати комплексний критерій «продуктивність – якість – енерговитрати – надійність» (див. практичну роботу № 8).

Завдання для самостійного виконання

Для заданого варіанта (табл. 7.1) розрахувати Q , N та $N_{\text{пит}}$ при трьох значеннях частоти обертання n_1, n_2, n_3 . Побудувати графік залежності $N_{\text{пит}}(n)$ та зробити висновок щодо тенденції зміни питомих витрат енергії.

№ вар.	k	D, м	N _{xx} , кВт	k ₂ , кВт·год/ т	n ₁	n ₂	n ₃ , об/хв
1	0.018	0.35	2.5	2.2	600	1000	1400
2	0.022	0.4	3	2.5	500	900	1300
3	0.02	0.45	3.5	2.8	500	1000	1500
4	0.025	0.3	2	2	700	1100	1500
5	0.016	0.5	4	3	400	800	1200
6	0.0218	0.38	2.8	2.4	600	1050	1500
7	0.0192	0.42	3.2	2.6	550	950	1350
8	0.0236	0.36	2.6	2.3	650	1000	1350
9	0.0178	0.48	3.8	2.9	450	850	1250
10	0.0243	0.33	2.4	2.1	700	1150	1600
11	0.02	0.4	3	2.5	500	1000	1500
12	0.0227	0.37	2.9	2.4	600	1000	1400

Вимоги до оформлення звіту

У звіті навести таблицю розрахунків для трьох значень n , графік залежності $Q(n)$ і $N_{\text{пит}}(n)$, а також якісне обґрунтування додаткових обмежень (знос, якість, вібрація), що визначають верхню допустиму межу частоти обертання.

Контрольні питання для захисту

1. Назвіть основні технологічні параметри виробничих процесів та їх вплив на продуктивність.
2. Як пов'язані режимні параметри обладнання з показниками якості продукції?
3. З яких складових формується потужність приводу технологічної машини?
4. Чому мінімум питомих витрат енергії не завжди відповідає оптимальному режиму роботи машини?
5. Які фактори обмежують максимально допустиму частоту обертання робочого органу подрібнювача?
6. Як здійснюється регулювання режимів роботи технологічного обладнання на практиці?
7. Наведіть приклад технологічного параметра, зростання якого одночасно підвищує продуктивність і погіршує якість продукції.
8. Поясніть, чому визначення «оптимальних значень параметрів» потребує комплексного, а не однофакторного підходу.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

Тема: КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ЗА УЗАГАЛЬНЕНИМ КРИТЕРІЄМ «ЯКІСТЬ – ПРОДУКТИВНІСТЬ – НАДІЙНІСТЬ – РЕСУРСИ»

Мета роботи

Мета роботи – оволодіти методикою прийняття обґрунтованого інженерного рішення щодо вибору оптимального режиму роботи обладнання на основі багатокритеріальної оптимізації методом адитивної згортки часткових критеріїв.

Теоретичні відомості

— Комплексна оптимізація технологічних параметрів передбачає одночасне врахування декількох, часто суперечливих критеріїв: продуктивності, якості продукції, енерговитрат (ресурсів) та надійності обладнання.

— Метод адитивної згортки полягає у приведенні часткових критеріїв $f_i(x)$ до єдиної нормованої шкали $(0...1, \text{ де } 1 - \text{ найкраще значення})$ та обчисленні узагальненого критерію як суми часткових критеріїв, помножених на вагові коефіцієнти значущості w_i .

— Прийняття інженерного рішення на основі результатів оптимізації полягає у виборі варіанта (режиму) з максимальним значенням узагальненого критерію F , з подальшою перевіркою його на відповідність технічним обмеженням (стабільність, надійність, ресурс обладнання).

— Комплексне управління «якість – параметри – надійність – ресурси» розглядає ці чотири складові у взаємозв'язку: зміна одного режимного параметра, як правило, одночасно впливає на всі чотири складові, часто в протилежних напрямках.

Методика розрахунку

$$F = \sum(w_i \times f_i(x)), \quad \sum w_i = 1 \quad (8.1)$$

де F – узагальнений (інтегральний) критерій оптимальності режиму; $f_i(x)$ – нормоване значення i -го часткового критерію (продуктивність, якість, енергоефективність, надійність) для режиму x ; w_i – коефіцієнт вагомості i -го критерію.

Приклад розв'язання

Порівнюються три варіанти режиму роботи технологічної лінії (А, Б, В), кожен з яких оцінено за чотирма нормованими критеріями: продуктивність f_1 ($w_1 = 0,35$), якість продукції f_2 ($w_2 = 0,30$), енергоефективність f_3 ($w_3 = 0,20$), надійність f_4 ($w_4 = 0,15$).

Режим	f_1	f_2	f_3	f_4
А	0,90	0,70	0,60	0,80
Б	0,70	0,90	0,80	0,90
В	0,80	0,80	0,70	0,70

Режим А: $F = 0,35 \times 0,90 + 0,30 \times 0,70 + 0,20 \times 0,60 + 0,15 \times 0,80 = 0,315 + 0,210 + 0,120 + 0,120 = 0,765$.

Режим Б: $F = 0,35 \times 0,70 + 0,30 \times 0,90 + 0,20 \times 0,80 + 0,15 \times 0,90 = 0,245 + 0,270 + 0,160 + 0,135 = 0,810$.

Режим В: $F = 0,35 \times 0,80 + 0,30 \times 0,80 + 0,20 \times 0,70 + 0,15 \times 0,70 = 0,280 + 0,240 + 0,140 + 0,105 = 0,765$.

Висновок. Найбільше значення узагальненого критерію має режим Б ($F = 0,810$), незважаючи на те, що за окремим показником продуктивності (f_1) він поступається режиму А. Це ілюструє ключову ідею комплексної оптимізації: локально «найшвидший» режим не завжди є найкращим інженерним рішенням, якщо він поступається за якістю, енергоефективністю чи надійністю з ваговими коефіцієнтами, що відображають пріоритети виробництва.

Завдання для самостійного виконання

Для заданого варіанта (табл. 8.1) розрахувати узагальнений критерій F для кожного з трьох запропонованих режимів (А, Б, В) за заданими нормованими частковими критеріями та вагами. Визначити оптимальний режим і обґрунтувати рішення, вказавши, за яким частковим критерієм оптимальний режим поступається іншим варіантам.

вар .	w1;w2; w3;w4	Режим А (f1;f2;f3;f4)	Режим Б (f1;f2;f3;f4)	Режим В (f1;f2;f3;f4)
	0,40;0,2 5;0,20;0,15	0,85;0,7 5;0,65;0,80	0,75;0,9 0;0,70;0,85	0,90;0,6 0;0,80;0,70
	0,30;0,3 5;0,20;0,15	0,80;0,8 5;0,60;0,75	0,90;0,6 5;0,75;0,85	0,70;0,9 0;0,80;0,70
	0,35;0,3 0;0,15;0,20	0,90;0,7 0;0,80;0,65	0,75;0,8 5;0,70;0,90	0,80;0,8 0;0,75;0,75
	0,25;0,2 5;0,25;0,25	0,85;0,8 0;0,70;0,75	0,80;0,8 5;0,75;0,80	0,90;0,7 0;0,80;0,70
	0,40;0,2 0;0,20;0,20	0,88;0,7 2;0,65;0,78	0,78;0,8 8;0,72;0,82	0,82;0,7 8;0,80;0,74
	0,30;0,3 0;0,25;0,15	0,86;0,7 6;0,68;0,80	0,74;0,9 0;0,74;0,86	0,80;0,8 0;0,78;0,72
	0,35;0,2 5;0,25;0,15	0,92;0,6 8;0,62;0,82	0,76;0,8 8;0,78;0,88	0,84;0,7 8;0,72;0,76
	0,30;0,2 0;0,25;0,25	0,84;0,7 4;0,66;0,84	0,72;0,8 6;0,76;0,90	0,88;0,7 2;0,80;0,72
	0,25;0,3 5;0,20;0,20	0,82;0,7 8;0,64;0,76	0,88;0,6 6;0,78;0,84	0,76;0,8 4;0,74;0,78
0	0,40;0,3 0;0,15;0,15	0,89;0,7 1;0,63;0,79	0,73;0,8 9;0,73;0,87	0,81;0,7 9;0,77;0,73
1	0,30;0,2 5;0,30;0,15	0,87;0,7 3;0,67;0,81	0,77;0,8 7;0,71;0,85	0,83;0,7 7;0,79;0,71
2	0,35;0,2 0;0,20;0,25	0,91;0,6 9;0,61;0,83	0,75;0,9 1;0,79;0,89	0,85;0,7 5;0,71;0,77

Вимоги до оформлення звіту

У звіті навести таблицю вихідних даних, повний розрахунок F для кожного режиму, обґрунтування вибору оптимального режиму та коротке обговорення того, як зміна вагових коефіцієнтів могла б змінити результат вибору.

Контрольні питання для захисту

1. У чому полягає сутність комплексної оптимізації технологічних параметрів обладнання?
2. Поясніть принцип методу адитивної згортки часткових критеріїв.
3. Чому важливо нормувати часткові критерії перед їх об'єднанням в узагальнений показник?
4. Як обираються вагові коефіцієнти часткових критеріїв і хто приймає рішення про їх значення?
5. Що таке стабільність і надійність технологічного процесу та обладнання, і як вони враховуються в оптимізації?
6. Опишіть роль прогнозування при управлінні якістю технологічних процесів.
7. Наведіть приклад ситуації, коли режим з найвищою продуктивністю не є оптимальним за комплексним критерієм.
8. Як взаємопов'язані складові комплексного управління «якість – параметри – надійність – ресурси»?

Список використаних джерел:

1. Online optimization of adjustable settings for agricultural machinery assisted by digital twin / D. Guo et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 227. Art. 109504. DOI: <https://doi.org/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. Construction method and case study of digital twin system for combine harvester / Y. Yin et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 226. Art. 109395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109395>
4. 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 / I. Laktionov et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 225. Art. 109326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109326>.
5. Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review / G. Papadopoulos et al. *Smart Agricultural Technology*. 2024. Vol. 8. Art. 100441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100441>
6. Precision agriculture management based on a surrogate model assisted multiobjective algorithmic framework / D. Cheng et al. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Art. 1142. DOI: <https://doi.org/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. A combined control method of traction and ballast for an electric tractor in ploughing based on load transfer / S. Zhang et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. Vol. 207. Art. 107750. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107750>
9. Improving path-tracking performance of an articulated tractor-trailer system using a non-linear kinematic model / M. Murillo et al.

Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 196. Art. 106826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106826>

10. Task assignment of multiple agricultural machinery cooperation based on improved ant colony algorithm / R. Cao et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 182. Art. 105993. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.105993>.

11. Тріщ Р. М., Грінченко Г. С. Сертифікація та підтвердження відповідності : навч. посіб. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 226 с.

12. Грінченко Г. С., Тріщ Р. М., Даниленко Ю. А. Науково-дослідні основи стандартизації : навч. посіб. Харків : Міськдрук, 2023. 254 с.

13. Управління якістю в системі технічного регулювання : навч. посіб. / Р. М. Тріщ, Г. С. Грінченко, В. М. Бурдейна, С. М. Артюх ; Укр. інж.-пед. акад. Харків : Укр. інж.-пед. акад., 2022. 219 с.

14. Models for Reducing the Duration and Cost of the Aviation Equipment Diagnostics Process Using the Decomposition of the Component Architecture of a Complex Product / O. Fedorovich et al. *Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2024. Vol. 221. P. 108–125. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_9.

15. Adaptive Algorithms for Quantization Error Normalization of Digital Encoder-Based Tachometers / V. Kukharchuk et al. *Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2024. Vol. 221. P. 259–269. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_19

16. Бабенко Д. В., Доценко Н. А., Горбенко О. А. Дослідження конструктивних і кінематичних характеристик енергоефективного олійного пресу. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2024. Вип. 28(3). С. 41-54. DOI: 10.56407/bs.agrarian/3.2024.41.

17. Бабенко Д. В., Доценко Н. А., Горбенко О. А., Бацуровська І. В. Дослідження характеру руху подрібненої маси по поверхні решіт сепаратора насіння овочевих та баштанних культур. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Вип. 27(4). С. 18-35. DOI: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/4.2023.18>.

18. Babenko, D., Dotsenko, N., Gorbenko, O. Justification of the design parameters of improved equipment for tomato processing. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2025. Vol. 29, No. 3. P. 9–22. DOI: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/3.2025.09>

19. Babenko, D., Dotsenko, N., Baczurowskaya, I. et al. Determination of the parameters of the use of water-lifting equipment in the conditions of livestock farms. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2022. Vol. 26, No. 3. P. 32–46. DOI: [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.

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. 2,5

Тираж 15 прим. Зам. №_

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