

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут будівництва, архітектури та дизайну
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

03-06-189М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять, самостійної роботи та виконання курсового
проєкту з навчальної дисципліни «Біотехнологічні та
біоенергетичні об'єкти і технології, організація виробництва та
управління процесами» для здобувачів вищої освіти другого
(магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою
«Біотехнології» спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія»
денної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІБАД
Протокол № 2 від 21.10.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять, самостійної роботи та виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Біотехнологічні та біоенергетичні об'єкти і технології, організація виробництва та управління процесами» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Біотехнології» спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Грицина О. О. – Рівне : НУВГП, 2025. – 35 с.

Укладач: Грицина О. О., к.т.н., доцент кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., д.т.н., професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення
спеціальності

G21 «Біотехнології та біоінженерія»

Грицина О. О.

© О. О. Грицина, 2025

© НУВГП, 2025

З М І С Т

Вступ.....	4
Практичне заняття №1. Принципи проектування біотехнологічних об'єктів.....	5
Практичне заняття №2. Інтеграція потоків відходів та відновлюваної сировини.....	10
Практичне заняття №3. Smart проектування об'єктів та стратегії масштабування.....	15
Практичне заняття №4. Організаційна структура та оптимізація робочих процесів.....	21
Практичне заняття №5. Бережливе виробництво та Six Sigma у біовиробництві.....	26
Курсовий проєкт.....	31
Рекомендована література.....	34

Вступ

Ці методичні вказівки призначені для організації та проведення практичних занять, самостійної роботи та виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Біотехнологічні та біоенергетичні об'єкти і технології, організація виробництва та управління процесами» для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю G21 «Біотехнології та біоінженерія».

Мета – дати послідовний, прикладний набір методик і шаблонів, які дозволяють поєднати інженерно-технологічні, організаційні й економічні аспекти проєктування та експлуатації біотехнологічних і біоенергетичних об'єктів.

Актуальність. Сучасні біотехнологічні й біоенергетичні проєкти вимагають інтегрованого підходу, що включає проєктування модульних технологічних схем, оцінку біо- та екологічних ризиків, впровадження digital-ready рішень і економічне обґрунтування. Ці вказівки узагальнюють кращі практики для підготовки інженерно-технологічної документації й формування компетентностей, необхідних для реалізації таких проєктів у реальних умовах.

Методичні вказівки містять п'ять практичних занять з послідовними кейсами, шаблони документів, критерії оцінювання та приклади виконання робіт. Кожне заняття включає теоретичну частину, практичну групову роботу та самостійну роботу для поглиблення навичок. Рекомендується використовувати надані шаблони як базовий каркас і адаптувати їх під конкретні умови кейсу або виробництва.

Курсовий проєкт є інтеграційною формою контролю, що перевіряє здатність здобувача застосувати теоретичні знання й практичні навички до розв'язання реальної інженерно-технологічної або управлінської задачі в галузі біотехнологій і біоенергетики.

У цих методичних вказівках наведені загальні рекомендації щодо організації та етапів виконання курсового проєкту, структура пояснювальної записки й графічної частини, вимоги до оформлення та оформлення посилань, критерії оцінювання, процедура захисту.

Ці методичні вказівки покликані забезпечити послідовну підготовку магістрів, здатних розробляти обґрунтовані технічні рішення, оцінювати ризики і економічну доцільність проєктів, а також впроваджувати практичні інструменти управління та оптимізації в біотехнологічних і біоенергетичних системах.

Практичне заняття №1. Принципи проектування біотехнологічних об'єктів.

Мета заняття: навчити студентів формувати технічно обґрунтовану концепцію проекту біотехнологічного об'єкта з урахуванням технологічних, безпекових та економічних вимог.

Завдання:

- Проаналізувати функціональні вимоги до об'єкта та обґрунтувати вибір технологічної схеми.
- Розробити мінімальну блок-схему виробничого потоку з вказанням ключових вузлів.
- Оцінити ризики біологічного і техногенного характеру та запропонувати заходи захисту.
- Підготувати коротке технічне завдання (ТЗ) для обраного модуля об'єкта.

Зв'язок з практичними результатами навчання (ПР):

- ПР08: планування і управління проектом; формування технічного завдання.
- ПР09: ідентифікація небезпечних факторів; заходи захисту персоналу й довкілля.
- ПР13: обґрунтування вихідної сировини та напівпродуктів для технологічної схеми.
- ПР14: складання виробничої та технологічної документації (коротке ТЗ, блок-схема).
- ПР17: аналіз варіантів управління процесом з урахуванням ризиків і обмежень.
- ПР19: проектування спеціальних біовиробництв - застосування принципів масштабування й інтеграції.

Тривалість:

2 академічні години (80 хвилин).

Необхідні матеріали та обладнання:

- Роздаткові матеріали: шаблон ТЗ (1 сторінка), шаблон блок-схеми, матриця оцінки ризиків.
- Засоби: MS Office або LibreOffice, Google Docs, Google Tables, Google Slides; маркери, фліпчарт або дошка.
- Норма часу: таймер або видимий хронометраж для групової роботи.

Хід заняття:

1. Вступ (10 хв)
 - Коротка мотивація: значення правильного проектування для безпеки, ефективності й рентабельності.
 - Ознайомлення з цілями та завданнями заняття.
 - Розподіл на групи (3–4 особи).
 2. Теоретичний блок (10 хв)
 - Основні принципи проектування: функціональна модульність, безпека за задумом, гнучкість, масштабованість, інтеграція відходів.
 - Ключові документи: технічне завдання, P&ID, блок-схема, матриця ризиків.
 - Критерії вибору сировини та технологічних опцій.
 3. Практична частина - групова робота (40 хв)
 - Завдання групи: отримати умовну задачу (наприклад, проєкт маломасштабного біореактора для виробництва ензиму або біодеструкції відходів) та виконати:
 - сформулювати цілі і показники успішності;
 - запропонувати блок-схему технологічного потоку (не більше 6 блоків);
 - визначити 3 основні ризики (біологічні/технічні/екологічні) та заходи їх мінімізації;
 - підготувати коротке ТЗ (максимум 1 сторінка).
 - Ролі в групі: проєктувальник, інженер з безпеки, технолог, доповідач.
 4. Презентації результатів груп (10–15 хв)
 - Кожна група презентує: блок-схему (2 хв), основні ризики і заходи (2 хв), ключові пункти ТЗ (1–2 хв).
 - Стислі запитання від викладача/груп і оперативний фідбек.
 5. Підсумки і рефлексія (5–10 хв)
 - Короткий підсумок ключових помилок і вдалі практики.
 - Домашнє завдання: розширити ТЗ до 2–3 сторінок з ескізом P&ID і матрицею ризиків; термін - наступне заняття.
- Критерії оцінювання та контрольні точки:
- Повнота блок-схеми і її відповідність цілям - 25%.
 - Обґрунтування вибору сировини і технологічних опцій - 20%.
 - Якість оцінки ризиків і заходів захисту - 25%.

- Ясність і компактність ТЗ - 20%.
- Презентація і вміння аргументувати рішення - 10%.

Рекомендації під час проведення:

- Забезпечити чіткі приклади структурованих ТЗ і еталонної блок-схеми для орієнтування.
- Стимулювати міждисциплінарні рішення: технологія + екологія + економіка.
- Під час фідбеку підкреслювати компроміси між безпекою, вартістю і гнучкістю проекту.

Самостійна робота:

Підготувати розширене ТЗ (2–3 стор.) і ескіз R&ID для обраного модульного рішення; додати матрицю ризиків з заходами й орієнтовною оцінкою вартості ключових вузлів.

Приклад виконання завдання групи (кейс: маломасштабний біореактор для виробництва індустріального ензиму).

1. Цілі й показники успішності:

- Мета проєкту: розробити технічно обґрунтовану концепцію модульного лабораторно-промислового біореактора для виробництва індустріального ферменту (ензиму) потужністю 100 л робочого об'єму.
- Ключові показники успішності (KPI):
- *Продуктивність ферментації*: ≥ 2 г ензиму/л бродіння за цикл.
- *Час циклу*: ≤ 120 год. від запуску до збору продукту.
- *Коефіцієнт виходу продукту*: $\geq 60\%$ від теоретичного максимуму.
- *Рівень біобезпеки*: відсутність постійної контамінації в 3 послідовних контрольних пробах.
- *Енергоспоживання*: $\leq 1,2$ кВт·год на 1 л робочого об'єму на цикл.
- *Вартість одиниці продукції (попередня)*: орієнтовно $\leq X$ EUR/кг.

2. Блок-схема технологічного потоку (не більше 6 блоків)

1. Приймання і підготовка середовища - фільтрація/стерилізація.

2. Підготовка інокулюму і інокуляція.

3. Основний ферментер - контроль Т, рН, DO,

- перемішування .
- 4. Фаза накопичення продукту (витримка) - проміжний контроль.
- 5. Сепарація і первинна очистка - фільтрація, центрифугування.
- 6. Упакування продукту і обробка відходів - підготовка продукту, очищення стоків.

Напрямки потоків на схемі: стрілки матеріальних потоків між блоками; символи енергопостачання (електрогенератор, теплообмінник) поруч із ферментером; позначити місця забору контрольних проб.

3. Три основні ризики і заходи їх мінімізації:

- Ризик 1. Біологічний - контамінація культури чужорідними мікроорганізмами.
 - Заходи: вхідний контроль сировини; стерилізація середовища та обладнання; регулярні контрольні посіви; SOP для aseptic handling; навчання персоналу.
- Ризик 2. Технічний - відмова системи аерації чи перемішування, що призведе до зниження продуктивності.
 - Заходи: проектування дублюючих насосів і вентиляторів; моніторинг ключових параметрів у реальному часі; план технічного обслуговування; аварійні сценарії з ручним управлінням.
- Ризик 3. Екологічний - неконтрольований викид непройдених через очистку стічних вод із високим COD/BOD.
- Заходи: попередня нейтралізація і біологічна доочистка стоків; буферні ємності; моніторинг параметрів вихідних стоків; план утилізації залишків.

4. Коротке технічне завдання (ТЗ) - приклад, максимум 1 сторінка

Назва проєкту: Модульний біореактор 100 л для виробництва індустріального ензиму

Короткий опис: Розробити концепцію і технічні параметри модуля біореактора робочим об'ємом 100 л для виробництва ферменту X методом аеробної ферментації мікроорганізмом Y з виходом ≥ 2 г/л за цикл.

Основні технічні вимоги:

- Робочий об'єм: 100 л; матеріал резервуару: нержавіюча сталь 316л; внутрішнє покриття сумісне з CIP/SIP.
- Система стерилізації: парова стерилізація in-place (SIP) до 121 °C; можливість автоклавування допоміжних ємностей.
- Аерація і перемішування: регульована аерація з масовим потоком до 10 л повітря·л⁻¹ середовища·хв⁻¹; механічне мішання з частотою 0–500 об/хв; резервний привод.
- Контроль параметрів: датчики pH, DO, температури, тиску; система SCADA для збору даних і аварійних сповіщень.
- Вимоги до продуктивності: цільовий вихід продукту ≥ 2 г/л; час виробничого циклу ≤ 120 год.
- Вимоги безпеки: наявність системи локалізації розливів, вентиляції з HEPA фільтрацією для зон критичного контролю, плани дезактивації відходів.
- Енергетика: орієнтовне споживання ≤ 1,2 кВт·год/л на цикл; можливість інтеграції в систему рекуперації тепла.
- Відходи: описати методи переробки дигестату і побічних вод; наявність буферних ємностей на 3 доби виробництва.

Термін підготовки проектної документації: 2 тижні.

Вихідні документи: блок-схема, P&ID ескіз, матриця ризиків, попередній CAPEX/OPEX розрахунок.

Виконавці: команда з 4 осіб (проектувальник, інженер з безпеки, технолог, економіст).

Критерії приймання: відповідність KPI, наявність документованих заходів безпеки, попередній економічний аналіз.

Практичне заняття №2. Інтеграція потоків відходів та відновлюваної сировини.

Мета заняття: навчити студентів аналізувати, проєктувати та обґрунтовувати інтегровані технологічні потоки, що використовують відходи та відновлювану сировину, з урахуванням технічних, екологічних і економічних обмежень.

Завдання:

- Проаналізувати характеристики доступних потоків відходів і відновлюваної сировини для конкретного кейсу.
- Розробити блок-схему інтегрованого потоку з визначенням точок перетину матеріалів і енергії.
- Оцінити екологічні та біобезпечні ризики і запропонувати заходи мінімізації.
- Провести попередню економічну оцінку життєздатності інтегрованого рішення та визначити ключові показники ефективності.

Зв'язок з практичними результатами навчання:

- ПР08: планування і управління проєктами з урахуванням потоків сировини та відходів.
- ПР09: оцінка та заходи захисту від біологічних і техногенних небезпек при роботі з відходами.
- ПР13: формулювання вимог до сировини і напівпродуктів; оцінка невизначеностей якості.
- ПР14: підготовка фрагмента технологічної документації на інтегрований процес.
- ПР17: аналіз варіантів управління процесом з урахуванням ризиків і обмежень.
- ПР19: проєктування біовиробництва з використанням відновлюваних ресурсів і потоків відходів.

Тривалість:

2 академічні години (80 хвилин).

Необхідні матеріали та обладнання

- Роздаткові матеріали: кейс-опис, таблиця характеристик відходів, шаблон блок-схеми, матриця оцінки ресурсів.
- Засоби: MS Office або LibreOffice, Google Docs, Google Tables, Google Slides, фліпчарт/дошка, маркери.
- Рекомендовано: приклади LCA-індикаторів і простий

шаблон розрахунку OPEX/CAPEX.

Хід заняття:

1. Вступ 10 хв:
 - Актуальність інтеграції потоків у біотехнологічних проєктах; очікувані результати.
 - Представлення кейсу: вибір одного з варіантів - (1) агроорганічні відходи для виробництва біогазу з відокремленням і концентрацією органічної фракції для подальшої ферментації; або (2) побічні продукти промислового виробництва як сировина для екстракції цінних сполук (наприклад, поліфенолів, ліпідів, білків).
 - Розподіл ролей у групах: аналітик сировини, технолог, інженер з безпеки, економіст.
2. Теоретичний блок 15 хв:
 - Принципи вибору потоків: доступність, однорідність, сезонність, забруднення, показники C/N, вологості, токсичності.
 - Методи інтеграції: переробка, послідовна/паралельна схеми, циркуляція промивних розчинів, рекуперація енергії.
 - Ключові екологічні показники: викиди, утилізація залишків, енергоефективність; біобезпечні вимоги при обробці відходів.
3. Практична частина 30-45 хв:
 - Крок 1 Аналіз даних кейсу 10 хв: заповнення таблиці характеристик потоків (композиція, обсяг, сезонність, ризику).
 - Крок 2 Проєктування інтегрованої блок-схеми 20 хв: макс. 7 блоків; вказати потоки матеріалів і енергії; позначити пункти переробки, притоку і утилізації відходів.
 - Крок 3 Оцінка ризиків і заходів 10 хв: ідентифікувати мінімум 4 ризики (біологічні, хімічні, екологічні, логістичні) і запропонувати заходи контролю.
 - Додатково за часом: попередній економічний прорахунок 5–10 хв: базовий розрахунок OPEX/CAPEX або простий показник payback для ключового вузла.
4. Презентації 10-15 хв:
 - Кожна група 3–4 хв: блок-схема; 2 ключові заходи з ризик-менеджменту; один економічний висновок.

- Коротке питання-відповідь і відбір найкращого рішення.
5. Підсумки і домашнє завдання 5 хв
- Узагальнення типових помилок і сильних підходів.
 - Домашнє завдання: підготувати короткий протокол інтеграції (1–2 стор.) з матрицею потоків, планом управління ризиками і базовою економічною оцінкою; термін - наступне заняття.

Опис практичної частини:

- Формат: малі групи по 3–4 студенти.
- Методи: кейс-стаді, моделювання процесу на рівні блок-схеми, аналіз ризиків, елементи попереднього техніко-економічного аналізу.
- Інструменти: таблиці для характеристики потоків, шаблон блок-схеми, проста модель витрат у Google Tables.

Критерії оцінювання та вага завдання:

- Якість аналізу сировинних потоків і їх відповідність кейсу - 25%.
- Раціональність і коректність інтегрованої блок-схеми - 25%.
- Оцінка ризиків і запропоновані заходи захисту - 20%.
- Попередня економічна оцінка і обґрунтування життєздатності - 20%.
- Ясність презентації та командна робота - 10%.

Рекомендації під час проведення:

- Надати чіткі параметри кейсу; приклади типових характеристик відходів.
- Заохочувати врахування сезонності і логістики при виборі потоків.
- Оцінювати не тільки технічну коректність, а й стійкість рішення з точки зору ресурсоефективності та управління ризиками.

Приклад виконання практичної частини (кейс агроорганічних відходів для біогазу з виділенням фракції для ферментації):

Крок 1. Аналіз даних кейсу (заповнена таблиця, приклад).

Показник	Значення
Потік	Кукурудзяна силосна маса
Композиція	Волога 70%; Сухий залишок 30%; C/N $\approx$ 25; органічні

	речовини високої біодоступності
Обсяг	5 т/добу (сировина)
Сезонність	Основний збір 3 місяці; постачання залишок року - 30% пік
Ключові ризики	1) мікробна контамінація; 2) варіабельність C/N; 3) логістичні затримки; 4) надлишкове зволоження знижує енерговіддачу

Крок 2. Проектування інтегрованої блок-схеми (максимум 7 блоків, опис потоків).

Блоки і потоки (нумерація для орієнтації):

1. Приймальний бункер і попередня сортування - потік: сировина (мас/добу) → механічне видалення сторонніх домішок.

2. Дрібнення та гомогенізація - енергія: електроенергія; потік: гомогенізована маса.

3. Механічна сепарація (прес-центрифуга) - потік розділяється на рідку фракцію і волокнисту фракцію; рідка - до анаеробного реактора, волокниста - на подальшу ферментацію/компостування.

4. Анаеробний реактор (біогазова установка) - потік: рідка фракція; вихід: біогаз і дигестат.

5. Стадія вилучення біомаси для ферментації - з дигестату/волокнистої фракції виділяють концентрат мікробної/органічної маси для ферментера.

6. Ферментер для цільового продукту (наприклад, виробництво кормового білка або біопластичних мономерів) - потік: концентрат; вихід: продукт і залишки.

7. Утилізація/рекуперація залишків і енергії - утилізація твердої фракції, рекуперація тепла від двигуна біогазової установки.

Коротка візуальна інструкція: вкажіть на схемі стрілками напрямок матеріального потоку і пунктами енергетичні підключення (електрогенератор, теплообмінник).

Крок 3. Оцінка ризиків і заходів контролю (мінімум 4 ризики).

- Ризик 1. Біологічний - патогенна контамінація сировини. Заходи: попередня термічна обробка або кислотна стабілізація; моніторинг біомаркерами; СІЗ для персоналу.

- Ризик 2. Хімічний - залишкові пестициди в сировині. Заходи: вхідний контроль проб; сорбція/екстракція для видалення;

обмеження використання у ферментації сировини з перевищенням ПДК.

- Ризик 3. Екологічний - викиди неперероблених стічних вод. Заходи: лінія відведення дигестату на доочистку; буферні ємності; контроль показників COD/BOD.

- Ризик 4. Логістичний - сезонні піки постачання викликають дефіцит зберігання або перевантаження. Заходи: планування буферних ємностей для зберігання; контрактні домовленості з постачальниками; регулярний аудит ланцюга поставок.

Додатково за часом попередній економічний прорахунок (приклад, 5–10 хв)

Вихідні припущення прикладу:

- CAPEX ключового вузла (анаеробний реактор + газова котельня): 150 000 EUR.

- OPEX за рік (паливо, обслуговування, персонал, електроенергія): 30 000 EUR/рік.

- Щорічні доходи від продажу енергії/продуктів: 45 000 EUR/рік.

Простий показник окупності (payback) обчислюється як відношення CAPEX до чистого річного грошового потоку: чистий потік = Доходи – OPEX = 45 000 – 30 000 = 15 000 EUR/рік.

$\text{Payback} = \text{CAPEX} / \text{чистий потік} = 150000 / 15000 = 10$ років.

Коментар: такий підхід є попереднім; для точності слід врахувати дисконтування грошових потоків (NPV), амортизацію, податки та варіативність доходів.

Практичне заняття №3. Smart проектування об'єктів та стратегії масштабування.

Мета: навчити студентів застосовувати принципи «розумного» проектування (digital-ready, модульність, автоматизація, інтелектуальний моніторинг) і обґрунтовувати стратегії поетапного масштабування біотехнологічних об'єктів від лабораторного рівня до пілота й промислового рівня.

Завдання:

- Проаналізувати підходи Smart-дизайну: модульність, цифрова інтеграція, віддалений моніторинг, інструменти оптимізації.
- Розробити стратегію масштабування для конкретного модуля (lab → pilot → plant) з ключовими техніко-економічними критеріями.
- Визначити вимоги до автоматизації й даних (SCADA, IoT, датчики) для контролю процесу.
- Оцінити ризики при масштабуванні та запропонувати заходи їх пом'якшення.

Зв'язок з практичними результатами навчання (ПР):

- ПР08: планування проектів з урахуванням цифрових та організаційних аспектів.
- ПР13: формулювання вимог до сировини й процесів при зміні масштабу.
- ПР14: підготовка технологічної документації для різних рівнів масштабування.
- ПР17: аналіз варіантів управління процесами з урахуванням прогнозів і обмежень.
- ПР19: проектування модульних виробництв і біоенергетичних установок з можливістю масштабування.

Необхідні матеріали та підготовка студентів:

- **Матеріали:** шаблон плану масштабування (lab → pilot → plant), чек лист для інтеграції датчиків, простий шаблон CAPEX/OPEX.
- **Забезпечення:** MS Office або LibreOffice; Google Docs/Sheets/Slides; доступ до демонстраційних схем SCADA/IoT.
- **Попередні знання:** поняття модульності, основи

автоматизації, базові знання процесних параметрів та техніко-економічного аналізу.

Хід заняття (2 академічні години; 80 хв):

1. Вступ і мотивація (10 хв):
Коротко: значення Smart-проекткування в біотехнології; приклади успішних рішень; очікувані результати заняття.
2. Теоретичний блок (15–20 хв):
 - Принципи Smart-дизайну: модульність, цифрова готовність, інтероперабельність, кібербезпека.
 - Інструменти: SCADA, IoT, цифрові твіни (digital twins), аналітика даних для оптимізації.
 - Стратегії масштабування: геометричне масштабування, поетапне масштабування модулів, параметричне масштабування; критерії переходу між етапами.
3. Практична групова робота (30–40 хв):
 - Розподіл на групи 3–4 особи; ролі: проєктувальник, інженер з автоматизації, технолог, економіст/доповідач.
 - Завдання групи: обрати умовний модуль (наприклад, 10 л лабораторний ферментер) і підготувати план масштабування до 1 000 л пілота з дотриманням Smart-принципів:
 1. Цілі та критерії переходу між етапами (KPI, контрольні пороги).
 2. Блок-схема модульної архітектури (максимум 6 блоків) з позначенням місць встановлення датчиків і пунктів інтеграції даних.
 3. Вимоги до автоматизації й даних (що вимірювати, частота збору, інтерфейси).
 4. Короткий техніко-економічний розрахунок (орієнтовні CAPEX/OPEX для ключової ділянки) та простий показник окупності.
 5. Оцінка 3 основних ризиків при масштабуванні (технічні, якісні, ринкові) і заходи пом'якшення.
 - Формат: 25–30 хв на проєктування, 10–15 хв на презентації (3–4 хв на групу) та короткий Q&A.
4. Підсумки (10 хв): Огляд підходів груп, ключові спостереження, рекомендації викладача, наведення найкращих практик.

Критерії оцінювання та вага завдань:

- Чіткість і реалізованість плану масштабування - 30%.
- Відповідність вимогам автоматизації і даних - 25%.
- Техніко-економічне обґрунтування - 20%.
- Оцінка ризиків і заходи пом'якшення - 15%.
- Презентація і командна робота - 10%.

Самостійна робота

Підготувати детальніше технічне завдання для обраного модуля (2–3 стор.) з: блок-схемою, переліком датчиків і інтерфейсів, попереднім CAPEX/OPEX, матрицею ризиків.

Приклад виконання практичної групової роботи.

Вихідні умови кейсу:

- Обраний модуль: лабораторний ферментер 10 л (аеробна ферментація для виробництва ферменту X).
- Ціль масштабування: пілотний модуль 1 000 л із можливістю подальшого модульного розширення до промислового рівня.
- Команда: проєктувальник, інженер з автоматизації, технолог, економіст/доповідач.

1. Цілі та критерії переходу між етапами (KPI, контрольні пороги)

- KPI продуктивності: концентрація ферменту $\geq 2,0$ г/л; вихід продукту $\geq 60\%$ від теоретичного.
- KPI процесу: час циклу ≤ 120 год; стабільність DO $\geq 30\%$ від насичення в робочій фазі; рН у допустимому діапазоні $\pm 0,2$ від цільової.
- KPI якості: відсутність контамінації у 3 послідовних контрольних пробах; чистота продукту $\geq 90\%$ на стадії первинної очистки.
- Критерії переходу lab $\rightarrow$ рілот: відтворюваність KPI у трьох незалежних лабораторних циклах; підтвердження лінійності ключових параметрів (rX, μ) при переході від 1 Л $\rightarrow$ 10 Л.
- Критерії переходу рілот $\rightarrow$ рлант: економічна життєздатність (попередній NPV > 0 при дисконтній ставці), відтворюваність KPI у ≥ 5 пілотних циклах, верифікована автоматизація та закладені заходи безпеки.

2. Блок-схема модульної архітектури (максимум 6 блоків) з місцями встановлення датчиків:

1. Підготовка середовища - підготовка живильного розчину;

фільтрація/стерилізація.

- Датчики: контроль температури (Т); витратомір живильного розчину (flow meter).
- 2. Передреактор (інокуляційний модуль) - вирощування інокулюму.
 - Датчики: рН; температура (Т); розчинений кисень (DO) для контролю інокуляту.
- 3. Основний ферментер (1 000 Л) - керування процесом (температура, аерація, перемішування).
 - Датчики: рН; DO; температура (Т); рівень рідини (level); тиск (pressure); датчик масового потоку повітря (mass-flow); сенсор мутності або ргоху біомаси (OD/biomass ргоху); частотометр або енкодер для мішалки (об/хв).
- 4. Блок контролю і автоматики (SCADA / PLC) - збір даних, логіка контролю, архівація.
 - Пункти інтеграції: усі датчики; виконавчі механізми (насоси, клапани, приводи); інтерфейси ІоТ; протоколи зв'язку (OPC UA, Modbus/TCP, MQTT).
 - Зауваження: передбачити резервування критичних шляхів зв'язку і засоби кібербезпеки.
- 5. Сепарація і первинна очистка - центрифуга/фільтрація.
 - Датчики: тиск і перепад тиску (ΔP) на фільтрах; витрати (flow); часткові сенсори якості (наприклад, мутність, провідність).
- 6. Утилізація / енергетична рекуперація - обробка відходів, рекуперація тепла.
 - Датчики: об'єм/витрата стоків; склад (контрольні параметри: COD/BOD, рН, температура); температурні датчики на вузлах рекуперації тепла.

На схемі зазначити двонаправлені лінії передачі даних між РЛС і SCADA, а також шлюзи ІоТ для аналітики в хмарі.

3. Вимоги до автоматизації й даних

- Що вимірювати (мінімум): температура (Т, $^{\circ}\text{C}$); рН; розчинений кисень (DO, % насичення або $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); рівень рідини (м або % від тах); масовий/об'ємний подач повітря (vvm - $\text{л повітря}\cdot\text{л}^{-1}\text{ середовища}\cdot\text{хв}^{-1}$); оберти мішалки ($\text{об}\cdot\text{хв}^{-1}$); витрата живильного розчину ($\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}$); мутність /

оптична густина (OD) як проксі біомаси; тиск у системі (бар або kPa); витрати та показники якості відходів (об'єм, COD/BOD, pH).

- Частота збору: критичні параметри (T, pH, DO) - для автоматичного регулювання прийнятний інтервал від 1 с до 1 хв; вторинні параметри (витрати, рівні, потоки) - 1 хв - 5 хв; аналітичні методи глибшого рівня (HPLC, біоаналізи) - періодично за циклом або за потребою; метадані та логи - постійна архівація з часовими мітками.
- Інтерфейси й протоколи зв'язку: PLC (Programmable Logic Controller) з Modbus/TCP або OPC UA для інтеграції зі SCADA; MQTT або REST API для IoT-шлюзів і хмарної аналітики; стандартизовані формати даних для експорту (CSV, JSON); часові мітки у форматі ISO 8601; механізми аутентифікації та шифрування (TLS/VPN), управління доступом за ролями.
- Аналітика і візуалізація: реальна-часова панель зі дашбордами та історичними трендами; правило-орієнтовані алерти (threshold alerts) і повідомлення про події; базовий набір KPI-звітів; опціонально - цифровий двійник (digital twin) для симуляцій, оптимізації та прогнозного контролю; інструменти для аналізу чутливості й сценарного моделювання.
- Резервування і надійність: дублювання критичних сенсорів (pH, DO, T) і каналів зв'язку для валідації показань; резервні приводи/помпи для ключових вузлів; визначені аварійні процедури та режим ручного управління; централізоване логування всіх подій із збереженням змінених параметрів і дій оператора; регулярні процедури калібрування і валідації сенсорів.

4. Короткий техніко-економічний розрахунок і простий показник окупності

- Припущення (приклад): додаткові CAPEX для масштабування 10 L $\rightarrow$ 1 000 L (реактор, системи CIP/SIP, PLC/SCADA, сепарація) $\approx$ 200 000 EUR. Додатковий щорічний OPEX (енергія, обслуговування, персонал) $\approx$ 40 000 EUR/рік. Очікувані додаткові річні доходи від збільшеного обсягу продукції $\approx$ 80 000 EUR/рік.
- Чистий річний грошовий потік: $80\,000 - 40\,000 = 40\,000$ EUR/рік.

- Простий показник окупності (payback):
чистий річний грошовий потік= $200,000/40,000=5$ років.
- Зауваження: наведена оцінка є попередньою. Для прийняття інвестиційного рішення необхідно виконати повний фінансовий аналіз: розрахунок NPV і IRR з урахуванням обраної ставки дисконту, амортизації, оподаткування, інфляції та сценарного аналізу (чутливість до ціни продукції, продуктивності, витрат). Рекомендовано також включити ризикові коректори і план резервного фінансування.

5. Оцінка 3 основних ризиків при масштабуванні і заходи пом'якшення

- Ризик 1 (технічний): зміна гідродинаміки при переході на 1 000 л призводить до зниження масопереносу кисню (O_2) і падіння продуктивності.
 - Заходи: провести CFD-моделювання для оптимізації геометрії мішалки; виконати пілотні випробування на проміжних обсягах; передбачити резервні рішення для аерації (збільшення vvm, додаткові інжекційні системи, підвищена потужність компресорів); дублювання критичних приводів і можливість регулювання режимів перемішування.
- Ризик 2 (якісний): відхилення складу продукту через зміну метаболізму культури при масштабуванні.
 - Заходи: поетапна валідація KPI на проміжних масштабах; впровадження онлайн-моніторингу проксі-параметрів (мутність/OD, pH, DO) з коригуючими алгоритмами; адаптація стратегії підживлення (feeding strategy); протоколи контролю якості та часті офлайн-аналізи (HPLC, активність ензиму) для калібрування онлайн-моделей.
- Ризик 3 (ринковий/економічний): зниження попиту або падіння ціни продукту після нарощення обсягів виробництва.
- Заходи: провести попередній ринковий аналіз і розробити канали збуту; застосувати поетапне (модульне) розгортання виробництва; виконати сценарне планування доходів і аналіз чутливості (best/likely/worst); розглянути диверсифікацію продуктового портфеля та контракти попереднього збуту.

Практичне заняття №4. Організаційна структура та оптимізація робочих процесів.

Мета: навчити студентів аналізувати організаційні структури біотехнологічних і біоенергетичних об'єктів, розробляти оптимальні схеми розподілу ролей і відповідальностей та пропонувати заходи щодо підвищення ефективності робочих процесів.

Завдання:

- Проаналізувати типові організаційні структури для лабораторних, пілотних і промислових модулів.
- Сформулювати функціональні ролі, обов'язки й механізми взаємодії між підрозділами.
- Розробити карту процесів і запропонувати заходи оптимізації (стандартизація, шаблон SOP, Kanban, RACI).
- Оцінити вплив організаційних змін на безпеку, якість і ефективність виробництва.

Зв'язок з практичними результатами навчання (ПР):

- ПР08 - планувати і управляти проектами з урахуванням організаційних аспектів.
- ПР14 - складати виробничу та технологічну документацію, включно із SOP і посадовими інструкціями.
- ПР17 - оцінювати варіанти управління процесами з урахуванням обмежень і ризиків.
- ПР19 - проєктувати виробництва з урахуванням організаційної структури і управління.

Необхідні матеріали:

- Шаблони: RACI, шаблон SOP, карта потоків (SIPOC), приклад органограми.
- Засоби: MS Office або LibreOffice; Google Docs/Sheets/Slides; фліпчарт або цифрове полотно для карти процесів.
- Попередні знання: базові поняття менеджменту процесів, стандартизації, принципи Lean і Six Sigma.

Хід заняття (80 хв):

1. Вступ і мотивація (10 хв)
Коротко: роль організаційної структури у безпечному й ефективному виробництві; очікувані навчальні результати.
2. Короткий теоретичний блок (10–20 хв)

- Типи організаційних структур: функціональна, матрична, лінійно-функціональна, проектна; переваги й обмеження в біовиробництві.
 - Інструменти оптимізації: RACI, SIPOC, SOP, Kanban, стандарти роботи, KPI, процесні карти.
 - Взаємозв'язок організації з якістю, безпекою та відповідністю нормативам.
3. Практична групова робота (40 хв)
- Розподіл на групи 3–4 особи; ролі: аналітик структури, процесний інженер, фахівець з якості, доповідач.
 - Завдання групи: отримати умовний кейс (наприклад, пілотна установка для виробництва біопродукту потужністю 1 000 л) і виконати:
 1. Побудувати спрощену органограму для роботи об'єкта з чітким розподілом ролей і відповідальностей.
 2. Скласти карту ключового процесу - SIPOC або блок-схему (flowchart) для стадії виробництва з чітко позначеними контрольними точками.
 3. Заповнити матрицю RACI для трьох критичних задач: пуск/зупинка ферментера, управління відходами, контроль якості випуску продукції.
 4. Запропонувати щонайменше два заходи з оптимізації (наприклад, шаблон SOP для стандартних операцій; впровадження Kanban для запасних частин; автоматизовані чек листи) і оцінити очікуваний вплив кожного заходу на ключові показники ефективності (KPI).
 - Формат: 30 хв на розробку, 10 хв на презентацію і Q&A.
4. Підсумки і рефлексія (10 хв)
- Огляд кращих рішень, рекомендації щодо впровадження, критерії успішності змін.

Критерії оцінювання і ваги:

- Повнота і логіка органограми - 25%
- Якість карти процесу і визначення контрольних точок - 25%
- Коректність і завершеність RACI - 20%
- Адекватність пропозицій оптимізації і оцінка впливу на KPI

- 20%
- Презентація і командна робота - 10%

Самостійна робота:

Підготувати детальний SOP для однієї з операцій вибраного кейсу (1–2 стор.) і оновлену матрицю RACI з описом впровадження запропонованих оптимізацій.

Приклад виконання практичної групової роботи (пілотна установка 1 000 л).

Вихідні дані кейсу:

- Об'єкт: пілотна установка для виробництва біопродукту, робочий об'єм ферментера 1 000 л.
- Мета групи: розробити органограму, карту процесу, матрицю RACI для критичних задач та запропонувати заходи оптимізації з оцінкою впливу на KPI.
- Команда: аналітик структури, процесний інженер, фахівець з якості, доповідач.

1. Спрощена органограма (текстовий опис):

- Керівник проекту / заводський менеджер - загальна відповідальність за реалізацію пілотної програми, прийняття ключових рішень.
- Відділ виробництва - керівник зміни; оператори ферментера; обслуговчий персонал; відповідальність за виконання технологічних операцій.
- Відділ технології - процесний інженер; інженер з автоматизації; інженер з пуско-налагодження; підтримка оптимальних режимів роботи.
- Відділ якості QA/QC - фахівець з контролю якості; лаборант аналітики; відповідальні за вхідний контроль, проміжну та випускную контрольну аналітику.
- Відділ безпеки та екології HSE - інженер з безпеки; відповідальний за управління відходами; контроль відповідності нормативам.
- Логістика та технічне обслуговування - склад запчастин; служба технічного обслуговування; відповідальність за запасні частини і оперативний ремонт.

Уточнення для органограми: вказати лінійні і функціональні канали комунікації, контактні пункти для оперативного прийняття рішень і делегування повноважень; додати відповідні SLA для

ролей A/R у RACI.

2. SIPOC і ключова карта процесу:

- Suppliers: постачальник живильних середовищ; постачальник культури; постачальник реагентів.
- Inputs: живильний розчин; інокулюм; вода; енергія; технологічні інструкції (SOP); пакувальні матеріали.
- Process (стисло, flowchart): приймання сировини → підготовка середовища (фільтрація, стерилізація) → інокуляція → основна ферментація → сепарація і первинна очистка → упаковка і маркування → відвантаження.
- Outputs: концентрат продукту; продукти очищення; відходи (рідкі, тверді); аналітичні звіти.
- Customers: внутрішні підрозділи очищення і пакування; зовнішні замовники; лабораторія контролю якості.

Контрольні точки (checkpoint):

- Приймання сировини - вхідний QC.
- Після стерилізації - перевірка стерильності.
- Після інокуляції - перевірка інокулюму.
- Під час фази накопичення - онлайн-контроль рН, DO, Т, мутності.
- Після сепарації - аналіз чистоти продукту.
- Перед відвантаженням - фінальна сертифікація якості.

Задача	Керівни к проєкту	Відділ виробницт ва	Процесн ий інженер	QA/Q C	HS E	Логісти ка
Пуск/зупин ка ферментера	A	R	C	I	C	I
Управління відходами	I	R	C	I	A	C
Контроль якості випуску	I	C	C	A	I	R

Пояснення позначень: **R** - виконує; **A** - затверджує/остаточно відповідає; **C** - консультує/надає експертну інформацію; **I** - інформується. Для кожного R/A вказати SLA і очікуваний час реакції.

4. Заходи оптимізації і оцінка впливу на KPI

Заходи:

1. Впровадити шаблон SOP для ключових операцій (пуск/зупинка, очищення, калібрування) з інтегрованими чек-листами.
2. Запровадити Kanban для управління запасними частинами та витратними матеріалами.
3. Впровадити електронні автоматизовані чек-листи і журнал подій з прив'язкою до SCADA/PLC для критичних операцій.

Оцінка впливу на KPI (орієнтовно, вказати джерела/припущення при використанні):

- SOP + чек-листи: зниження операційних помилок 30–50%; скорочення часу навчання операторів 15–25%; підвищення відповідності процедурам до >95%.
- Kanban: зменшення простоїв через нестачу запчастин 40–60%; зниження витрат на інвентар 10–20%.
- Електронні чек-листи/електронний лог: скорочення часу розслідування інцидентів 30%; покращення трасованості і зниження ризиків невідповідностей.

Методика оцінки: порівняння базових показників до впровадження і після першого кварталу, аналіз MTTR, кількості інцидентів, часу простою, показника відповідності SOP.

Практичне заняття №5. Бережливе виробництво та Six Sigma у біовиробництві.

Мета: навчити студентів застосовувати підходи Lean і Six Sigma для підвищення ефективності, якості та прогнозованості біовиробничих процесів; формувати навички ідентифікації втрат, картування потоків та проведення базових DMAIC-процедур у контексті біотехнологічного виробництва.

Завдання:

- Ознайомити з принципами Lean (7 видів втрат, 5S, Kanban, потокове виробництво) і базовими елементами Six Sigma (DMAIC, статистичні індикатори, контрольні карти).
- Навчити застосовувати інструменти Lean для картування потоку цінності (VSM) у біовиробничому процесі.
- Виконати базовий цикл DMAIC на прикладі технологічної проблеми (падіння виходу продукту, простої обладнання).
- Оцінити ризики й обмеження застосування Lean/Six Sigma у біовиробництві з урахуванням HSE і регуляторних вимог.

Зв'язок із практичними результатами навчання (ПР):

- ПР08 - планування і управління проектами з урахуванням організаційних аспектів.
- ПР14 - підготовка технологічної документації та SOP з урахуванням стандартизації.
- ПР17 - оцінка варіантів управління процесами з урахуванням обмежень і ризиків.
- ПР19 - проєктування виробництв з урахуванням оптимізації потоків матеріалів і ресурсів.

Необхідні матеріали:

- Матеріали: шаблон VSM, форма DMAIC, приклади контрольних карт ($\bar{X}$ -R, P-chart), чек лист 5S.
- Засоби: MS Office або LibreOffice; Google Docs/Sheets/Slides (або аналогами для статистики), фліпчарт/цифрове полотно.

Хід заняття (90 хв):

1. Вступ (10 хв) - значення Lean і Six Sigma для біовиробництва; приклади переваг і обмежень.
2. Теоретичний блок (10-20 хв) - принципи Lean (7 видів втрат, 5S, Kanban, потокове виробництво); основи Six Sigma (мета, DMAIC, σ , Cp/Cpk, PPM); специфіка застосування в

біопроцесах (валідність, HSE, регуляторика).

3. Практична групова робота (40 хв):

- Розподіл на групи 3–4 особи; ролі: фасилітатор, аналітик даних, технолог/оператор, доповідач.
- Завдання: кейс (наприклад, підвищення виходу продукту на 1 000 Л пілоті або скорочення простоїв):
 1. Провести швидке картування потоку цінності (VSM).
 2. Застосувати елементи DMAIC: Define (формулювання проблеми), Measure (вибір Y і X; збір або імітація мінімального набору даних).
 3. Analyze - первинний аналіз причин (5 Whys, fishbone).
 4. Improve - запропонувати 2–3 покращення; Control - план контролю і короткий план валідації змін.
- Формат: 25–30 хв на розробку, 10–15 хв на презентації (3–4 хв на групу) і Q&A.

4. Підсумки (10 хв) - огляд рішень, обговорення валідації та документування змін, рекомендації.

Критерії оцінювання:

- Якість і повнота VSM та визначення проблеми - 30%.
- Коректність Measure/Analyze (обґрунтування метрик і причин) - 25%.
- Обґрунтованість запропонованих поліпшень і плану контролю - 25%.
- Презентація і командна робота - 20%.

Самостійна робота:

Підготувати короткий звіт (2–3 стор.) за виконаним кейсом: VSM, DMAIC-звіт (Define–Measure–Analyze–Improve–Control), орієнтовна оцінка економічного ефекту та план валідації змін.

Приклад виконання практичної групової роботи (40 хв):

Вихідні дані кейсу:

- Об'єкт: пілотний ферментер 1 000 л для виробництва ферментного концентрату.
- Проблема: зниження виходу продукту на 15% від цільового рівня за останні цикл(и).

- Команда: фасилітатор, аналітик даних, технолог/оператор, доповідач.
1. Швидке картування потоку цінності VSM - стисла версія:
 - Послідовність: постачання сировини → підготовка середовища (SIP) → підготовка інокулюму → інокуляція → основна ферментація (1 000 Л) → сепарація/первинна очистка → концентрування → упаковка/маркування → відвантаження.
 - Час/запаси (прикладні оцінки): підготовка середовища - 6 год (черга 4 год); ферментація - 96–120 год; сепарація - 4 год.
 - Чек-пойнти (вузькі місця): черги підготовки середовища; нестабільний інокулюм; провали DO під час ферментації; простої при сепарації.
 - Метрики VSM: загальний Lead time (год), WIP (л), % часу очікування, MTTR для критичних збоїв.
 2. DMAIC - Define / Measure (приклад):

Define:

 - Проблема: середній вихід ензиму знизився з $2,0 \text{ г} \cdot \text{Л}^{-1}$ до $1,7 \text{ г} \cdot \text{Л}^{-1}$ (–15%) за останні 6 циклів. Ціль: відновити $\geq 1,95 \text{ г} \cdot \text{Л}^{-1}$ у 3 послідовних циклах.

Measure:

 - Y (ціловий KPI): вихід продукту ($\text{г} \cdot \text{Л}^{-1}$).
 - Потенційні X (вимірювані фактори): середній DO (%) у фазі експоненційного росту; температура ($^{\circ}\text{C}$); час інокуляції (год); концентрація субстрату на старті ($\text{г} \cdot \text{Л}^{-1}$); мутність/OD при переході у фазу накопичення.
 - Імітований мінімальний набір даних (6 останніх циклів):
 - Вихід ($\text{г} \cdot \text{Л}^{-1}$): 1.9, 1.8, 1.7, 1.6, 1.7, 1.7
 - Середній DO (%) у ростовій фазі: 40, 35, 30, 25, 28, 29
 - Температура ($^{\circ}\text{C}$): 30.0, 30.2, 30.5, 31.0, 30.8, 30.9
 - Час інокуляції (год): 8, 8, 6, 6, 6, 6
 - OD при переході: 0.8, 0.75, 0.6, 0.55, 0.58, 0.6
 - Примітка: в Measure вказувати одиниці, методи вимірювання і точність сенсорів; при імітації даних документувати припущення.
 3. Аналізує - первинний аналіз причин (5 Whys, fishbone):

5 Whys (приклад):

- Чому знизився вихід? - культура погано росте у фазі росту.
- Чому культура погано росте? - DO у фазі росту нижчий за норму.
- Чому DO нижчий? - аерація/перемішування недостатні для 1 000 Л.
- Чому аерація/перемішування недостатні? - робочі параметри масштабовані лінійно без корекції масопереносу.
- Чому не виконано корекцію? - відсутність перевіреної стратегії масштабування і моніторингу масопереносу.

Fishbone - категорії можливих причин: люди (досвід операторів), обладнання (геометрія мішалки, масовий потік повітря), методика (режими підживлення, інокуляції), матеріали (варіації сировини), середовище (температурні коливання, затримки стерилізації).

Висновок Аналізу: основні підозрювані X - низький DO через недостатню аерацію/перемішування; нестабільний інокулюм (короткий час інокуляції в частині циклів).

Improve - пропозиції; Control - план і валідація.

Improve (2–3 заходи):

- Технічне: підвищити масову подачу повітря до цільового vvm; встановити додатковий дифузор або інжектор; протестувати альтернативну конфігурацію перемішувача (CFD-аналіз на пілотних обсягах).
- Операційне: стандартизувати підготовку інокулюму (мінімальний час інокуляції ≥ 8 год); ввести контрольний поріг OD інокуляту перед введенням.
- Процедурне: впровадити автоматичний алерт при $DO < 30\%$ у фазі росту та SOP дій оператора при спрацьовуванні алерту.

Control - план контролю і валідація

- Ключові контрольні точки і метрики: DO (%) у фазі росту (ціль $\geq 35\%$); вихід ($г \cdot Л^{-1}$) після кожного циклу; OD інокуляту перед введенням (мін. ≥ 0.7).
- Моніторинг: real-time відображення DO в SCADA з автоматичними повідомленнями про перевищення (порогу); щоденний звіт KPI.

- Валідація змін (навчальний сценарій FAT/SAT): пілотний тест змін на проміжних обсягах (100 Л і 500 Л), по 2 цикли на кожному обсязі; критерій для переходу - вихід $\geq 1,95$ г·Л⁻¹ у 2/2 циклах на 500 Л.
- Додаткові заходи: калібрування і дублювання сенсорів DO; документовані процедури реакції оператора.
- Критерії успіху: відновлення виходу $\geq 1,95$ г·Л⁻¹ у трьох послідовних циклах; стабільний DO ≥ 35 % у фазі росту; відсутність простоїв через обладнання після впровадження.

Курсовий проєкт.

Студент обирає тему та конкретне завдання проєкту самостійно, узгоджуючи їх із викладачем. Тема повинна корелювати з одним із розділів курсу та передбачати інженерно-технологічні або управлінські розрахунки в біотехнологічній і біоенергетичній сфері.

Проєкт виконується у вигляді пояснювальної записки й графічної частини (1–2 аркуші формату A1).

Загальні вимоги:

- Обсяг пояснювальної записки 20–35 сторінок залежно від складності завдання.
- Графічна частина 1–2 аркуші формату A1 (схема P&ID або технологічна схема, ескізи апаратів, діаграми потоків).
- Мова виконання - українська; терміни і акроніми розшифровуються при першому вживанні (наприклад, OD, vvm, SOP, SCADA, DMAIC).
- Усі числові розрахунки супроводжувати одиницями вимірювання, джерелами даних і припущеннями.
- Посилання оформлювати відповідно до обраного стилю (APA, DSTU або інший, погоджувати з викладачем).

Структура пояснювальної записки (приклад):

Розділ 1 Технологічна частина.

- 1.1 Характеристика кінцевої продукції - призначення, основні властивості, специфікації якості.
- 1.2 Характеристика сировини, матеріалів і напівпродуктів - фізико-хімічні параметри, варіабельність партій, вимоги до постачальників.
- 1.3 Опис технологічного процесу - послідовність операцій, ключові параметри процесу, контрольні точки.
- 1.4 Матеріальний баланс - вхід/вихід за компонентами, схема розрахунків, припущення.
- 1.5 Система контролю виробництва - перелік показників, методи вимірювання, частота відбору, пороги дії.

Розділ 2 Розрахунок обладнання.

- 2.1 Обґрунтування вибору конструкції та матеріалів - критерії вибору, корозійна та біологічна сумісність.
- 2.2 Технологічна характеристика апарату - робочий об'єм,

режим роботи, гідравлічні та термічні параметри.

- 2.3 Конструктивний розрахунок - розміри, товщини стінок, правила розрахунку міцності згідно нормативів.
- 2.4 Розрахунок механічного перемішуючого пристрою - геометрія імпелеру, потужність, N_p , потужність на об'єм.
- 2.5 Розрахунок барботера та системи аерації - vvm , kLa , розміри дифузорів, компресорні характеристики.
- 2.6 Тепловий розрахунок - баланс тепла, потужність теплообмінників, вимоги до охолодження/нагрівання.
- 2.7 Вибір загальнозаводського обладнання - насоси, системи очищення, компресори, очищення стоків.

Висновки

- Короткий підсумок результатів, практичні рекомендації, порівняння з літературними або аналітичними даними, обмеження роботи.

Графічна частина:

- Технологічна схема або P&ID з маркуванням обладнання, трубопроводів, контрольних точок і запірної арматури.
- Ескізи ключових апаратів із базовими розмірами.
- Діаграми матеріальних і енергетичних потоків із зазначенням одиниць виміру.
- Використовувати стандартизовані умовні позначення та шрифти, забезпечити читабельність при друку на A1.

Методика виконання крок за кроком:

1. Визначити тему і погодити завдання з викладачем, чітко сформулювавши межі проєкту.
2. Зібрати вихідні дані: властивості сировини, технологічні параметри, нормативи, технічні характеристики обладнання.
3. Розробити технологічну схему процесу і позначити контрольні точки.
4. Провести матеріальний баланс для основних потоків; виписати припущення й обґрунтування.
5. Розрахувати обладнання згідно з пунктами розділу 2; робити перевіірочні розрахунки (запас міцності, чутливість до зміни параметрів).
6. Оцінити потреби у загальнозаводських системах (енергія, пари, вода, утилізація).
7. Підготувати графічну частину: креслення, схеми, діаграми.

8. Скласти висновки, вказати ризики, пропозиції щодо подальших досліджень.
9. Погоджувати проміжні результати з викладачем щонайменше на трьох етапах.
10. Підготувати презентацію для захисту.

Якість даних і валідація:

- Вказувати джерела для фізико-хімічних властивостей і конверсійних коефіцієнтів.
- Якщо використовуються імітовані дані, документувати методику генерації та припущення.
- Проводити хоча б одну перевірку чутливості ключових розрахунків до зміни вхідних параметрів.

Оформлення і подача:

- Текстовий файл у форматі DOCX або PDF; графічні макети у форматі PDF з роздільною здатністю для друку A1.
- На титульній сторінці вказати тему, прізвище, групу, керівника, дату.
- Додати список використаної літератури та додатки з розрахунками або вихідними таблицями.

Захист курсового проекту.

Здобувач вищої освіти презентує комісії в складі 2-х осіб результати курсового проектування в формі пояснювальної записки та інженерних креслень. Комісія може задавати питання щодо уточнення прийнятих здобувачем вищої освіти інженерних рішень та їх обґрунтованості. Максимальна кількість балів за захист курсового проекту – 10 балів. Оцінювання відповідей на питання проводиться за такими критеріями (у % від кількості балів, виділених на питання із заокругленням до цілого числа):

0% - відповідь на питання відсутня;

40% - відповідь на питання дано частково, відповіді не аргументовані і не конкретні;

60% - відповідь на запитання містять окремі недоліки, судження студента не достатньо аргументовані;

80% - відповідь дана повністю, проте містить окремі несуттєві недоліки не системного характеру;

100% - відповідь дана повністю і без зауважень.

Рекомендована література

1. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні та управління безпекою праці : підручник для студ. закл. вищ. освіти спец. «Біотехнології та біоінженерія» / Саблій Л. А., Бунчак О. М., Жукова В. С. та ін. ; за ред. Л. А. Саблій ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2-ге вид., перероб. і доп. Рівне : НУВГП, 2018. 377 с.

2. Державна фармакопея України : у 3 т. 2-ге вид. Харків : ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. Т. 1. 1128 с.

3. Математичне моделювання процесів і систем [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Піргач М. С. та ін. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 351 с.

4. Шапран Ю. П. Біотехнологія, генна інженерія : навч.-метод. посіб. Переяслав-Хмельницький (Київ. обл.) : Домбровська Я., 2019. 132 с.

5. Краснопольський Ю. М., Пилипенко Д. М. Фармацевтична біотехнологія : сьогодення та майбутнє : навч. посіб. Харків : Друкарня «Мадрид», 2022. 151 с.

6. Biotechnological Approaches in Waste Management [Electronic resource] / edited by Rangabhashiyam S., Ponnusami V., Pardeep Singh. 1st ed. Boca Raton : CRC Press, 2022. 278 p. ISBN 9781003188292 (eBook). DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003188292>.

7. Biotechnological Transformation for Sugarcane Management [Electronic resource] / edited by Krishan K. Verma, Xiu-Peng Song, Munna Singh, Jian-Ming Wu, Yang-Rui Li. 1st ed. New York : Apple Academic Press, 2024. 378 p. ISBN 9781003536376 (eBook). DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003536376>.

8. Bioenergy and Biochemical Processing Technologies: Recent Advances and Future Demands [Electronic resource] / edited by Augustine O. Ayeni, Samuel Eshorame Sanni, Solomon U. Oranusi. 1st ed. Cham : Springer, 2022. VIII, 403 p. (Green Energy and Technology). ISBN 978-3-030-96721-5 (eBook), ISBN 978-3-030-96720-8 (Hardcover), ISBN 978-3-030-96723-9 (Softcover). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-96721-5>.

9. Photosynthesis: Biotechnological Applications with Microalgae [Electronic resource] / edited by Matthias Rögner. Berlin ; Boston : De

Gruyter, 2021. 310 p. (De Gruyter STEM). ISBN 9783110716979 (eBook), ISBN 9783110716917 (Paperback). DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110716979>.

10. Supply Chain and Logistics Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications [Electronic resource] / Information Resources Management Association. Boca Raton : IGI Global, 2019. 2148 p. ISBN 9781799809463 (eBook), ISBN 9781799809456 (Hardcover), ISBN 1799809455 (Print). DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0945-6>.

11. Комариста Б. М., Бендюг В. І. Основи інженерії та технології сталого розвитку : конспект лекцій для студ. другого (магістерського) рівня підготовки усіх спец. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 267 с.

12. Комариста Б. М., Бендюг В. І. Основи інженерії та технології сталого розвитку : метод. вказівки до проведення семінарських занять, самост. роботи та виконання індивід. завдання для студ. другого (магістерського) рівня підготовки усіх спец. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 78 с.

13. Джигирей І. М. Основи інженерії та технології сталого розвитку. Оцінювання життєвого циклу продукційних систем [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 47 с.

14. Огурцов О. М., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю. Біонанотехнологія та нанобіофізика : у 2 ч. Ч. 1 : Біонаноструктури. Харків : НТУ «ХПІ», 2019. 256 с.