

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

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

03-06-173М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять, самостійної роботи та виконання курсової
роботи з навчальної дисципліни «Процеси та апарати
біотехнологічних виробництв»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо–професійною програмою
«Біотехнології, біоробототехніка та біоенергетика»
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»
денної форми навчання

Рекомендовано
науково–методичною радою
з якості ННІБА
Протокол № 5 від 11.02.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять, самостійної роботи та виконання курсової роботи з навчальної дисципліни «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо–професійною програмою «Біотехнології, біоробототехніка та біоенергетика» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Грицина О. О. – Рівне : НУВГП, 2025. – 84 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

162 «Біотехнології та біоінженерія»

Грицина О. О.

© О. О. Грицина, 2025

© НУВГП, 2025

З М І С Т

Вступ.....	5
Практичне заняття №1. Вступ до біотехнології: Ознайомлення з основними поняттями та напрямками біотехнології	9
Практичне заняття №2. Моделювання клітинних процесів: Використання програмного забезпечення для моделювання біопроцесів	12
Практичне заняття №3. Вимірювання потоку рідин: Дослідження гідравлічних параметрів у трубопроводах.....	15
Практичне заняття №4. Мікрофільтрація та ультрафільтрація: Вивчення мембранних методів фільтрування	19
Практичне заняття №5. Дослідження процесів перемішування: Вплив реологічних властивостей на ефективність змішування.....	22
Практичне заняття №6. Реологія рідин: Визначення в'язкості та інших властивостей рідких середовищ	27
Практичне заняття №7. Центрифугування: дослідження методів осадження.....	30
Практичне заняття №8. Випарювання та концентрування розчинів: Дослідження ефективності випарювальних апаратів.....	34
Практичне заняття №9. Ліофілізація біологічних матеріалів: Технологія сушіння заморожуванням	39
Практичне заняття №10. Адсорбційні процеси: Дослідження адсорбції на активованому вугіллі.....	44
Практичне заняття №11. Рідинно–рідинна екстракція: Вилучення біологічно активних речовин з рослинної сировини.....	47
Практичне заняття №12. Осадження білків: Методика осадження цільових білкових продуктів.....	51
Практичне заняття №13. Методи сушіння: порівняння ефективності	56
Практичне заняття №14. Проектування біореакторів	60
Практичне заняття №15. Культивування дріжджів для біотехнологічних процесів.....	65
Практичне заняття №16. Масштабування біореакторів: Вивчення факторів при переході від лабораторних до промислових масштабів	68

Практичне заняття №17. Інтенсифікація процесів ферментації:	
Оптимізація умов для підвищення виходу продукту	73
Курсова робота.....	79
Рекомендована література.....	83

Вступ

Методичні вказівки до практичних занять, самостійної роботи та виконання курсової роботи з дисципліни **«Процеси та апарати біотехнологічних виробництв»** розроблені з метою сприяння студентам у:

- **Засвоєнні теоретичного матеріалу:** Поглибленому розумінні ключових концепцій та принципів біотехнологічних процесів та апаратів.
- **Виконанні практичних завдань:** Набутті практичних навичок, необхідних для аналізу та розв'язання задач у біотехнології.
- **Самостійній роботі:** Розвитку навичок самостійного дослідження, аналізу інформації та критичного мислення.
- **Підготовці курсової роботи:** Інтеграції теоретичних знань та практичних навичок для виконання комплексного дослідницького проекту.

Методичні вказівки спрямовані на розвиток професійних компетентностей, необхідних для майбутньої діяльності в галузі біотехнології та біоінженерії, включаючи здатність проектувати, аналізувати та оптимізувати біотехнологічні процеси і апарати.

Дисципліна **«Процеси та апарати біотехнологічних виробництв»** має велике значення в контексті сучасного розвитку біотехнології, біоробототехніки та біоенергетики. Біотехнологія відіграє ключову роль у вирішенні глобальних викликів, таких як забезпечення продовольчої безпеки, розробка нових медичних препаратів, екологічна стійкість та відновлювані джерела енергії. Знання про процеси та апарати є основою для проектування, оптимізації та впровадження інноваційних біотехнологічних виробництв, що робить цю дисципліну надзвичайно актуальною.

Дисципліна **«Процеси та апарати біотехнологічних виробництв»** є інтегративною і взаємопов'язаною з багатьма іншими навчальними компонентами:

- **«Біологія клітини»:** Забезпечує базові знання про структуру і функції клітин, що є основою для розуміння біотехнологічних процесів.
- **«Хімія»:** Дає знання про хімічні реакції та процеси, які важливі для розробки і оптимізації біотехнологічних

апаратів.

- **«Фізика з основами біофізики»:** Включає принципи фізики, необхідні для аналізу механічних, гідромеханічних, теплових та масообмінних процесів.
- **«Біохімія»:** Допомогає зрозуміти біохімічні реакції і процеси, які відбуваються в біотехнологічних системах.

Отримані знання будуть використовуватися в подальшому навчанні, зокрема в дисциплінах **«Біореакторні системи»**, **«Мікробіологічні процеси»**, **«Інженерія біопроектів»**, а також у професійній діяльності в галузі біотехнології та біоінженерії.

Після вивчення дисципліни **«Процеси та апарати біотехнологічних виробництв»** студенти мають опанувати наступні компетентності та програмні результати навчання:

- **Здатність застосовувати теоретичні знання у практичних ситуаціях:** Студенти навчатися використовувати теоретичні концепції для аналізу та розв'язання практичних задач у галузі біотехнології (K01).

- **Розуміння принципів безпечної діяльності:** Будуть знати основи біобезпеки та вмітимуть застосовувати їх у виробничих умовах (K06).

- **Інтеграція математичних та фізичних знань:** Здатність використовувати математичні методи та фізичні принципи для моделювання, аналізу та оптимізації біотехнологічних процесів (ПР01, K10).

- **Проектування біотехнологічних виробництв:** Навички системного підходу до проектування технологічних ліній та вибору відповідного обладнання для реалізації біотехнологічних процесів (K17, K18).

- **Виконання технологічних розрахунків:** Вміння проводити гідродинамічні, масообмінні та теплові розрахунки для оптимізації роботи обладнання (ПР15, ПР16).

- **Розв'язання спеціалізованих задач:** Здатність вирішувати складні та комплексні задачі з невизначеністю, використовуючи сучасні методи біотехнології та біоінженерії (ІК).

Ці компетентності дозволять студентам ефективно працювати в галузі біотехнології, сприяти розвитку інноваційних технологій та бути конкурентоспроможними на ринку праці.

Організація навчального процесу з дисципліни **«Процеси та**

апарати біотехнологічних виробництв» включає такі основні елементи:

- **Лекції:** Протягом семестру проводяться лекції, на яких студенти отримують теоретичні знання з основних тем дисципліни. Лекції супроводжуються презентаціями, наочними матеріалами та прикладами з реальних біотехнологічних виробництв.

- **Практичні заняття:** Заняття проводяться в аудиторіях і мають на меті закріплення теоретичних знань через розв'язання задач, обговорення кейсів, виконання розрахунків та моделювання процесів. Студенти працюють індивідуально та в групах, що сприяє розвитку командних навичок.

- **Самостійна робота:** Студенти виконують завдання, що вимагають самостійного вивчення матеріалу, аналізу літератури, виконання додаткових розрахунків та підготовки рефератів. Самостійна робота сприяє розвитку навичок самоорганізації та самоконтролю.

- **Консультації:** Викладачі проводять регулярні консультації для допомоги студентам у розв'язанні складних питань, підготовці до практичних занять та виконанні курсових робіт.

- **Курсова робота:** Інтеграція теоретичних знань та практичних навичок у рамках виконання роботи.

Для ефективного вивчення дисципліни рекомендується дотримуватися наступних порад:

- **Планування часу:** Складіть розклад, що включає час для відвідування лекцій, виконання практичних завдань, самостійної роботи та підготовки до курсової роботи. Намагайтеся дотримуватися цього розкладу.

- **Робота з літературою:** Використовуйте рекомендовані підручники, наукові статті та інтернет–ресурси для поглибленого вивчення тем. Звертайте увагу на сучасні дослідження та інноваційні технології в галузі біотехнології.

- **Конспектування лекцій:** Робіть нотатки під час лекцій, записуючи основні концепції, формули, приклади та важливі деталі. Це допоможе вам краще запам'ятати матеріал та підготуватися до практичних занять.

- **Практичні завдання:** Виконуйте всі практичні завдання своєчасно та ретельно. Звертайтеся до викладачів за допомогою, якщо виникають складнощі.

- **Самоконтроль та самооцінка:** Регулярно перевіряйте свої знання та навички за допомогою тестів, контрольних запитань та самостійних робіт. Це допоможе виявити прогалини у знаннях та скоригувати процес навчання.

- **Спільна робота:** Співпрацюйте з однокурсниками під час підготовки до занять та виконання завдань. Спільна робота допоможе обмінюватися ідеями, вирішувати проблеми та закріплювати знання.

Оцінювання знань та вмінь студентів з дисципліни «**Процеси та апарати біотехнологічних виробництв**» наведено у силабусі навчальної дисципліни.

Практичне заняття №1. Вступ до біотехнології: Ознайомлення з основними поняттями та напрямками біотехнології

Мета заняття:

- **Ознайомитися** з базовими поняттями та термінами в галузі біотехнології.
- **Зрозуміти** історичний розвиток біотехнології та її сучасне значення.
- **Вивчити** основні напрямки та застосування біотехнології в різних сферах.
- **Підвищити усвідомлення** етичних, соціальних та екологічних аспектів біотехнологічних досліджень.

План заняття:

1. **Історичний розвиток біотехнології (20 хвилин):**
 - Від фермера до сучасного науковця: еволюція біотехнологічних процесів.
 - Значущі відкриття та технології.
 - Видатні вчені та їх внесок.
2. **Сучасні напрямки біотехнології (20 хвилин):**
 - **Червона біотехнологія:** медицина та фармацевтика.
 - **Зелена біотехнологія:** сільське господарство.
 - **Біла біотехнологія:** промислове виробництво.
 - **Синя біотехнологія:** морські ресурси.
 - Інші кольорові біотехнології та їх значення.
3. **Етичні та соціальні аспекти біотехнології (20 хвилин):**
 - Генетично модифіковані організми (ГМО): переваги та ризики.
 - Біобезпека та біоетика.
 - Вплив біотехнології на суспільство та довкілля.
4. **Закріплення матеріалу та обговорення (20 хвилин):**
 - Групова дискусія.
 - Відповіді на запитання студентів.

Короткі теоретичні відомості:

Біотехнологія – це наука, що вивчає можливості використання живих організмів, їх систем або продуктів їх життєдіяльності для вирішення технологічних завдань, створення нових продуктів та послуг.

Основні поняття:

- **Гени:** одиниці спадкової інформації.
- **Клітини:** базові структурні та функціональні одиниці життя.
- **Мікроорганізми:** бактерії, віруси, гриби, використовувані в біотехнологічних процесах.
- **Біомолекули:** молекули, що беруть участь у біологічних процесах (білки, ферменти, ДНК, РНК).

Історичний розвиток:

- **Традиційна біотехнологія:**
 - Ферментація для виробництва хліба, пива, сиру.
 - Використання дріжджів та бактерій у харчовій промисловості.
- **Сучасна біотехнологія:**
 - Відкриття структури ДНК.
 - Розвиток генної інженерії та рекомбінантних технологій.
 - Геномні дослідження та синтетична біологія.

Сучасні напрямки:

- **Червона біотехнологія:**
 - Розробка нових ліків, вакцин.
 - Генная терапія та діагностика захворювань.
- **Зелена біотехнологія:**
 - Створення трансгенних рослин.
 - Біопестициди та біодобрива.
- **Біла біотехнологія:**
 - Біокаталіз та біотрансформація в промисловості.
 - Виробництво біопалива та біополімерів.
- **Синя біотехнологія:**
 - Дослідження морських організмів для медичних та промислових застосувань.

Етичні та соціальні аспекти:

- Генетичні модифікації: моральні дилеми та суспільні дебати.
- Вплив на біорізноманіття та екосистеми.
- Питання патентування живих організмів.
- Регулювання та контроль біотехнологічних продуктів.

Завдання та вправи для виконання:

1. Дискусія в малих групах:

- **Тема:** "Генетично модифіковані організми: користь чи загроза?"

- **Завдання:**
 - Поділитися на групи по 4–5 осіб.
 - Проаналізувати аргументи "за" та "проти" використання ГМО.
 - Підготувати коротку презентацію висновків групи.

2. Індивідуальне завдання:

- **Тема:** "Мій улюблений напрямок біотехнології."
- **Завдання:**
 - Обрати один із сучасних напрямків біотехнології.
 - Підготувати короткий реферат (1–2 сторінки) про його значення та перспективи.
 - Представити основні тези перед групою.

3. Тести для самоперевірки:

- **Питання:**
 1. Дайте визначення біотехнології та назвіть її основні компоненти.
 2. У чому полягає різниця між червоною та зеленою біотехнологією?
 3. Назвіть три приклади застосування біотехнології в медицині.
 4. Які етичні питання виникають у контексті генетичної модифікації організмів?

Методичні рекомендації:

- **Підготовка до заняття:**
 - Прочитайте вступні розділи рекомендованої літератури.
 - Подумайте про своє ставлення до біотехнології та її впливу на життя.
- **Під час заняття:**
 - Будьте активними в обговореннях, висловлюйте свої думки.
 - Слухайте аргументи одногрупників, поважайте різні точки зору.
- **Після заняття:**
 - Проаналізуйте нову інформацію, занотуйте ключові моменти.
 - Поставте собі питання: як біотехнологія може вплинути на вашу майбутню професію?

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Що таке біотехнологія і які її основні напрями?
2. Які історичні події вплинули на розвиток сучасної біотехнології?
3. Як біотехнологія застосовується в сільському господарстві?
4. Які потенційні ризики пов'язані з використанням ГМО?
5. Чому етичні питання є важливими в біотехнологічних дослідженнях?

Практичне заняття №2. Моделювання клітинних процесів: Використання програмного забезпечення для моделювання біопроцесів

Мета заняття:

- Ознайомитися з основами моделювання клітинних процесів у біотехнології.
- Навчитися використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання біопроцесів.
- Розвинути навички аналізу та інтерпретації результатів моделювання.

План заняття:

1. **Практичне знайомство з програмним забезпеченням (30 хвилин):**
 - Інсталяція та налаштування програмного забезпечення (наприклад, COPASI, CellDesigner).
 - Огляд інтерфейсу та основних функцій.
 - Демонстрація побудови простої моделі клітинного процесу.
2. **Виконання практичного завдання (30 хвилин):**
 - Розробка моделі ферментативної реакції.
 - Налаштування параметрів моделі.
 - Проведення симуляції та аналіз результатів.
3. **Обговорення результатів та підсумки (20 хвилин):**
 - Аналіз отриманих даних.
 - Обговорення можливостей та обмежень моделювання.
 - Відповіді на запитання студентів.

Короткі теоретичні відомості:

Моделювання клітинних процесів – це методологія, яка дозволяє створювати математичні та комп'ютерні моделі біологічних систем для прогнозування їх поведінки.

Основні поняття:

- **Модель:** спрощене представлення реальної системи, що описує її ключові характеристики.
- **Симуляція:** процес використання моделі для отримання прогнозів про поведінку системи.
- **Кінетика реакції:** швидкість, з якою проходить біохімічна реакція.
- **Диференціальні рівняння:** математичні рівняння, що описують зміну концентрацій речовин з часом.

Типи моделей:

- **Детерміністичні моделі:** засновані на точних визначених рівняннях, де випадковість не враховується.
- **Стохастичні моделі:** враховують випадкові флуктуації, важливі для малих систем.
- **Гібридні моделі:** поєднують елементи детерміністичних та стохастичних підходів.

Програмне забезпечення для моделювання:

- **COPASI:** інструмент для моделювання та аналізу біохімічних мереж.
- **CellDesigner:** графічне середовище для побудови моделей клітинних процесів.
- **Matlab, Python** (з бібліотеками **BioPython, Tellurium**): мови програмування з потужними засобами для моделювання.

Завдання та вправи для виконання:

Практичне завдання: Розробка моделі ферментативної реакції типу Michaelis–Menten

Сценарій:

Студентам пропонується змоделювати просту ферментативну реакцію перетворення субстрату S в продукт P за участю ферменту E.

Кінетичні рівняння:

1. **Зв'язування субстрату з ферментом:**
 $E + S \rightleftharpoons E \cdot S$
2. **Преутворення комплексу у продукт:**

ES E+P

Завдання:

1. Побудувати модель реакції в програмному забезпеченні (COPASI або CellDesigner).
2. Ввести значення кінетичних констант:
 - $k_1=100 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
 - $k_{-1}=50 \text{ s}^{-1}$
 - $k_2=10 \text{ s}^{-1}$
3. Задати початкові концентрації:
 - $[E]_0=1 \text{ }\mu\text{M}$
 - $[S]_0=10 \text{ }\mu\text{M}$
 - $[ES]_0=0$
 - $[P]_0=0$
4. Провести симуляцію протягом 100 секунд.
5. Побудувати графіки зміни концентрацій $[S](t)$, $[P](t)$, $[ES](t)$, $[E](t)$ з часом.
6. Аналізувати вплив зміни $[S]_0$ на швидкість утворення продукту P.

Методичні рекомендації:

- **Початок роботи з програмою:**
 - Завантажте та встановіть обране програмне забезпечення (якщо це не зроблено заздалегідь).
 - Ознайомтеся з інтерфейсом програми: меню, панелі інструментів, області побудови моделей.
- **Побудова моделі:**
 - Створіть новий проект.
 - Додайте компоненти моделі: субстрат S, фермент EE, комплекс ES, продукт P.
 - Визначте реакції та вкажіть напрямки їх протікання.
- **Введення кінетичних параметрів:**
 - Для кожної реакції задайте кінетичні константи.
 - Переконайтеся, що одиниці вимірювання відповідають стандартним.
- **Проведення симуляції:**
 - Встановіть часовий діапазон симуляції та крок інтегрування.
 - Запустіть симуляцію та слідкуйте за прогресом.
- **Аналіз результатів:**

- Побудуйте графіки зміни концентрацій компонентів з часом.
- Використовуйте функції програми для аналізу швидкостей реакцій, визначення стаціонарних станів.
- **Варіативність:**
 - Змініть значення початкової концентрації субстрату $[S]_0$ та повторіть симуляцію.
 - Порівняйте результати та зробіть висновки про вплив концентрації субстрату на швидкість реакції.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Що таке математичне моделювання клітинних процесів і для чого воно використовується?
2. Які основні типи моделей застосовуються для моделювання біопроцесів?
3. Як кінетичні константи впливають на динаміку реакції в моделі?
4. Що таке стаціонарний стан у моделюванні біохімічних систем?
5. Які фактори можуть обмежувати точність моделі?

Практичне заняття №3. Вимірювання потоку рідин: Дослідження гідравлічних параметрів у трубопроводах

Мета заняття:

- Ознайомитися з методами вимірювання потоку рідин у трубопроводах.
- Зрозуміти основні гідравлічні параметри, що характеризують рух рідини.
- Навчитися розраховувати витрати рідини та аналізувати фактори, що впливають на гідравлічні втрати.

План заняття:

1. **Розв'язання розрахункових задач (40 хвилин):**
 - Задачі на визначення витрати рідини через трубопровід.
 - Розрахунок гідравлічних втрат по довжині та місцевих опорів.
 - Аналіз впливу діаметра трубопроводу та властивостей рідини на параметри потоку.

2. Кейс–стаді та обговорення (30 хвилин):

- Розгляд реальних випадків з виробництва, де вимірювання потоку рідин є критичним.
- Обговорення способів оптимізації гідравлічних систем у біотехнологічних установках.

3. Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):

- Узагальнення основних висновків.
- Рекомендації для самостійного вивчення.

Короткі теоретичні відомості:

Потік рідини – це рух рідини по трубопроводу або каналу, який характеризується певною швидкістю та напрямком.

Основні гідравлічні параметри:

- **Витрата (Q):** об'єм рідини, що проходить через поперечний переріз трубопроводу за одиницю часу ($\text{м}^3/\text{с}$ або $\text{л}/\text{с}$).
- **Швидкість потоку (v):** відстань, яку проходить частинка рідини за одиницю часу ($\text{м}/\text{с}$).
- **Діаметр трубопроводу (D):** впливає на швидкість потоку та гідравлічні втрати.
- **Гідравлічний градієнт:** зміна тиску вздовж трубопроводу, яка викликана силами тертя.

Закон Бернуллі:

$$P + \frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho gh = \text{const}$$

де:

- P – тиск,
- ρ – густина рідини,
- v – швидкість потоку,
- g – прискорення вільного падіння,
- h – висота над довільним рівнем.

Вимірювання витрати рідини:

- **Діафрагми:** стоншення трубопроводу з отвором, де різниця тисків до і після діафрагми використовується для визначення витрати.
- **Витратоміри:** пристрої, що безпосередньо вимірюють витрату рідини.
- **Ротаметри:** змінний перепасний витратомір з плаваючим елементом.

Гідравлічні втрати:

- **Втрати по довжині:** викликані тертям рідини об стінки трубопроводу.
- **Місцеві втрати:** виникають у місцях зміни перерізу, напрямку потоку, наявності вентилів, колін та інших елементів.

Завдання та вправи для виконання:

Задача 1. Розрахунок витрати та швидкості рідини в трубопроводі

Дано:

- Вода рухається по горизонтальному трубопроводу діаметром $D=50$ мм.
- Витрата води $Q=5$ л/с.

Знайти:

1. **Швидкість потоку води в трубопроводі (v).**

Розв'язання:

1. Переведемо діаметр в метри:

$$D=50 \text{ мм}=0,05 \text{ м}$$

2. Знайдемо площу поперечного перерізу трубопроводу:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,05)^2}{4} = 0,0019635 \text{ м}^2$$

3. Швидкість потоку:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Переведемо витрату в $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q=5 \text{ л/с}=0,005 \text{ м}^3/\text{с}$$

Підставляємо значення:

$$v=0,005/0,0019635 \approx 2,546 \text{ м/с.}$$

Задача 2. Визначення режиму потоку за критерієм Рейнольдса

Дано:

- Швидкість потоку $v=2,546$ м/с (з попередньої задачі).
- Діаметр трубопроводу $D=0,05$ м.
- Кінематична в'язкість води $\nu=1,01 \times 10^{-6}$ $\text{м}^2/\text{с}$.

Знайти:

1. **Число Рейнольдса (Re).**
2. **Визначити режим потоку (ламінальний чи турбулентний).**

Розв'язання:

1. Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{2,546 \times 0,05}{1,01 \times 10^{-6}} \approx 126,0 \times 10^3$$
$$Re \approx 126,0 \times 10^3 \approx 126000$$

2. Оскільки $Re > 4000$, то режим потоку **турбулентний**.

Задача 3. Розрахунок гідравлічних втрат по довжині

Дано:

- Довжина трубопроводу $L=100$ м.
- Швидкість потоку $v=2,546$ м/с.
- Діаметр трубопроводу $D=0,05$ м.
- Коефіцієнт гідравлічного тертя для турбулентного режиму можна взяти $\lambda=0,02$.

Знайти:

1. **Гідравлічні втрати по довжині (h_f).**

Розв'язання:

Гідравлічні втрати по довжині розраховуються за формулою Дарсі–Вейсбаха:

$$h_f = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

де $g=9,81$ м/с².

Підставляємо значення:

$$h_f = 0,02 \times \frac{100}{0,05} \times \frac{(2,546)^2}{2 \times 9,81}$$

Розрахунок:

1. Коефіцієнт довжини до діаметра:

$$\frac{L}{D} = \frac{1000}{0,05} = 2000$$

2. Швидкість у квадраті:

$$v^2 = (2,546)^2 \approx 6,48$$

3. Обчислюємо h_f :

$$h_f = 0,02 \times 2000 \times \frac{6,48}{2 \times 9,81}$$

$$h_f \approx 13,207$$

Таким чином, гідравлічні втрати по довжині складають приблизно $h_f=13,21$ м.

Методичні рекомендації:

- **Аналізуйте умови задачі:** Перед початком розрахунків уважно прочитайте завдання та визначте всі дані.
- **Перевіряйте одиниці вимірювання:** Усі величини повинні бути в узгоджених одиницях СІ.
- **Використовуйте правильні формули:** Записуйте формули перед підстановкою числових значень.
- **Робіть проміжні обчислення:** Це допоможе уникнути помилок та полегшить перевірку результатів.
- **Інтерпретуйте результати:** Після отримання числових значень обдумайте їх фізичний сенс та адекватність.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Що таке витрата рідини і в яких одиницях вона вимірюється?
2. Які основні методи вимірювання витрати рідини у трубопроводах ви знаєте?
3. Як визначити режим потоку рідини в трубопроводі?
4. Що викликає гідравлічні втрати в трубопроводах і як їх мінімізувати?
5. Чим відрізняються місцеві втрати від втрат по довжині трубопроводу?

Практичне заняття №4. Мікрофільтрація та ультрафільтрація: Вивчення мембранних методів фільтрування

Мета заняття:

- Ознайомитися з основами мембранних технологій мікрофільтрації та ультрафільтрації.
- Зрозуміти принципи роботи мембранних фільтрів і їх застосування в біотехнологічних процесах.
- Навчитися розраховувати основні параметри процесів фільтрації та аналізувати фактори, що впливають на їх ефективність.

План заняття:

1. Розв'язання розрахункових задач (40 хвилин):
 - Задачі на розрахунок продуктивності мембранного апарату.
 - Визначення коефіцієнта селективності мембрани.

2. Кейс–стаді та обговорення (30 хвилин):
 - Аналіз реального прикладу застосування мембранних технологій у біотехнології.
 - Дискусія про переваги та обмеження мембранних методів.
3. Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):
 - Узагальнення основних висновків.
 - Рекомендації для самостійної роботи.

Короткі теоретичні відомості:

Мембранна фільтрація – процес розділення компонентів розчину через напівпроникну мембрану під дією перепаду тиску.

Мікрофільтрація:

- Розмір пор мембрани: 0,1–10 мкм.
- Використовується для видалення макромолекул, суспендованих частинок, мікроорганізмів.
- Застосування: стерилізація розчинів, очищення води, підготовка культуральних середовищ.

Ультрафільтрація:

- Розмір пор мембрани: 1–100 нм.
- Здатна розділяти розчинені макромолекули, білки, віруси.
- Застосування: концентрування білкових розчинів, знебарвлення соків, очищення відвірусних препаратів.

Основні параметри процесу:

- **Продуктивність (J):** об'єм пермеату, що проходить через одиницю площі мембрани за одиницю часу ($\text{л}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$).
- **Перепад тиску (ΔP):** різниця тисків перед та після мембрани.
- **Селективність мембрани:** здатність мембрани розділяти компоненти суміші.
- **Фактори, що впливають на процес:** температура, в'язкість розчину, концентрація солей, турбулентність потоку.

Завдання та вправи для виконання:

Задача 1. Розрахунок продуктивності мікрофільтраційного процесу

Дано:

- Площа мембрани $A=10 \text{ м}^2$.
- Перепад тиску $\Delta P=200 \text{ кПа}$.
- Кінематична в'язкість розчину $\mu=1 \times 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.
- З коефіцієнтом проникності мембрани $L_p=5 \times 10^{-11} \text{ м}/(\text{Па} \cdot \text{с})$.

Знайти:

1. **Продуктивність процесу J.**
2. **Об'єм пермеату, отриманий за 5 годин роботи.**

Розв'язання:

1. **Продуктивність J:**

$$J=L_p \times \Delta P$$

Підставляємо значення:

$$J=5 \times 10^{-11} \text{ м}/(\text{Па} \cdot \text{с}) \times 200 \times 10^3 \text{ Па} = 1 \times 10^{-5} \text{ м}/\text{с}$$

Переводимо в л/(м²·год):

$$J=1 \times 10^{-5} \text{ м}/\text{с} \times 3600 \text{ с}/\text{год} \times 1000 \text{ л}/\text{м}^3 = 36 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$$

2. **Об'єм пермеату V:**

$$V=J \times A \times t = 36 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}) \times 10 \text{ м}^2 \times 5 \text{ год} = 1800 \text{ л}$$

Кейс–стаді: Застосування ультрафільтрації для концентрування білків

Ситуація:

Біотехнологічне підприємство виробляє ферментний препарат шляхом культивування мікроорганізмів. Після ферментації необхідно концентрувати фермент з культурального середовища.

Завдання:

- Проаналізувати можливість використання ультрафільтрації для цього процесу.
- Визначити переваги та недоліки методу.
- Розробити рекомендації щодо оптимізації процесу ультрафільтрації.

Методичні рекомендації:

- **При розв'язанні задач:**
 - Уважно аналізуйте умови задач.
 - Перевіряйте одиниці вимірювання та при необхідності конвертуйте їх.
 - Записуйте всі формули перед підстановкою числових значень.
 - Пояснюйте кожен крок розрахунку.
- **Для кейс–стаді:**
 - Використовуйте знання з теоретичної частини.
 - Розгляньте технологічні аспекти, такі як стабільність білка, можливість денаатурації.
 - Зверніть увагу на економічну доцільність та енергозатрати.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Які основні відмінності між мікрофільтрацією та ультрафільтрацією?
2. Як впливає розмір пор мембрани на селективність процесу фільтрації?
3. Які фактори визначають продуктивність мембранного фільтра?
4. Чому перепад тиску є ключовим параметром у мембранних процесах?
5. Які галузі біотехнології найбільше використовують мембранні технології і чому?

Практичне заняття №5. Дослідження процесів перемішування: Вплив реологічних властивостей на ефективність змішування

Мета заняття:

- Ознайомитися з принципами процесів перемішування в біотехнологічних системах.
- Розглянути вплив реологічних властивостей рідких середовищ на ефективність перемішування.
- Навчитися розраховувати основні параметри перемішування для різних типів рідин.
- Вивчити способи оптимізації процесів перемішування залежно від реологічних характеристик середовища.

План заняття:

1. **Практичне виконання завдань (40 хвилин):**
 - Розрахунок основних параметрів перемішування для різних реологічних типів рідин.
 - Визначення оптимальних умов перемішування з урахуванням реології середовища.
 - Аналіз впливу швидкості обертання та конструкції мішалки на процес змішування.
2. **Аналіз та обговорення результатів (30 хвилин):**
 - Порівняння отриманих результатів розрахунків.
 - Обговорення впливу реологічних властивостей на практичні аспекти перемішування.
 - Розгляд можливих проблем та шляхів їх вирішення

при перемішуванні різних рідин.

3. Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):

- Узагальнення основних висновків заняття.
- Рекомендації для подальшого вивчення та практичного застосування знань.

Короткі теоретичні відомості:

Перемішування — це процес впливу механічної дії на рідину для досягнення однорідності системи, покращення масообміну та теплообміну, підтримання суспензії твердих частинок.

Реологічні властивості рідин:

- **В'язкість (η):** міра опору рідини до деформації або течії. Визначає, як легко рідина піддається перемішуванню.
- **Типи рідин за реологічною поведінкою:**
 - **Ньютонівські рідини:** в'язкість залишається постійною незалежно від градієнта швидкості (наприклад, вода, низькоконцентровані розчини).

$$\tau = \eta \cdot \gamma$$

- **Неньютонівські рідини:** в'язкість залежить від градієнта швидкості (псевдопластичні, дилатантні, пластичні рідини).
 - **Псевдопластичні рідини:** в'язкість зменшується зі збільшенням швидкості зсуву (наприклад, полімерні розчини).
 - **Дилатантні рідини:** в'язкість збільшується зі збільшенням швидкості зсуву (наприклад, суспензії з високим вмістом твердих частинок).

Основні параметри перемішування:

- Швидкість обертання мішалки (N), об/с або об/хв.
- Діаметр мішалки (D), м.
- Потужність перемішування (P), Вт.
- Число Рейнольдса для перемішування (Re):

$$Re = \frac{\rho N D^2}{\eta}$$

де ρ — густина рідини, кг/м³.

- **Коефіцієнт потужності мішалки (Np):**

$$Np = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$$

Значення Np залежить від типу мішалки та режиму течії (ламінальний, перехідний, турбулентний).

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Розрахунок числа Рейнольдса та визначення режиму перемішування

Дано:

- **Рідина 1 (ньютонівська):**
 - В'язкість $\eta_1=0,001$ Па·с.
 - Густина $\rho_1=1000$ кг/м³.
- **Рідина 2 (псевдопластична):**
 - в'язкість при заданій швидкості $\eta_2=0,01$ Па·с.
 - Густина $\rho_2=1040$ кг/м³.
- **Параметри мішалки:**
 - Діаметр мішалки $D=0,15$ м.
 - Швидкість обертання $N=300$ об/хв (перевести в об/с: $N=5$ об/с).

Необхідно:

1. Розрахувати число Рейнольдса для обох рідин.
2. Визначити режим перемішування (ламінарний, перехідний або турбулентний).

Розв'язання:

1. Розрахунок числа Рейнольдса:

Для рідини 1.

$$Re_1 = \frac{\rho_1 N D^2}{\eta_1} = \frac{1000 \times 5 \times (0,15)^2}{0,001} = 112500$$

Для рідини 2.

$$Re_2 = \frac{\rho_2 N D^2}{\eta_2} = \frac{1040 \times 5 \times (0,15)^2}{0,001} = 11700$$

2. Визначення режиму перемішування:
 - Ламінарний режим: $Re < 10$
 - Перехідний режим: $10 < Re < 10000$
 - Турбулентний режим: $Re > 10000$
 - Для рідини 1. $Re_1=112500 > 10,000$ – турбулентний режим.
 - Для рідини 2. $Re_2=11,700$ – перехідний до турбулентного.

Завдання 2. Розрахунок потужності перемішування

Необхідно:

1. Знайти коефіцієнт потужності N_p для лопатеві мішалки в різних режимах течії.

2. Розрахувати потужність перемішування P для обох рідин.

Розв'язання:

1. Коefіцієнт потужності N_p :

- Для турбулентного режиму: $N_p \approx \text{const}$, залежить від типу мішалки (наприклад, для лопатевої мішалки $N_p=6$).

2. Розрахунок потужності:

Для рідини 1.

$$P_1 = N_p \rho_1 N^3 D^5 = 6 \times 1000 \times 5^3 \times 0,15^5$$

Розрахуємо:

- $N^3 = 5^3 = 125$
- $D^5 = 0,15^5 \approx 7,59375 \times 10^{-4}$

Тому:

$$P_1 = 6 \times 1000 \times 125 \times 7,59375 \times 10^{-4} = 6 \times 1000 \times 125 \times 0,000759375$$
$$P_1 = 56953125 \text{ Вт}$$

Для рідини 2.

Оскільки режим перехідний, N_p буде більшим, наприклад, $N_p=10$ (приблизно).

$$P_2 = N_p \rho_2 N^3 D^5 = 10 \times 1040 \times 125 \times 7,59375 \times 10^{-4}$$
$$P_2 = 9871875 \text{ Вт}$$

Завдання 3. Аналіз впливу реологічних властивостей на вибір мішалки

Необхідно:

1. Вивчити різні конструкції мішалок та їх призначення.
2. Вибрати найбільш підходящу мішалку для перемішування високов'язкої псевдопластичної рідини.
3. Обґрунтувати свій вибір з точки зору ефективності та енерговитрат.

Розв'язання:

1. Типи мішалок:

- **Пропелерні:** для низьков'язких рідин.
- **Турбінні:** універсальні, забезпечують високу турбулентність.
- **Лопатеві:** для середньов'язких рідин.
- **Якореподібні, рамні:** для високов'язких рідин.

2. Вибір мішалки:

- Для високов'язких псевдопластичних рідин доцільно використовувати **якореподібну мішалку** або **рамну**

мішалку.

3. Обґрунтування:

- Якореподібні мішалки забезпечують ефективне перемішування в'язких середовищ за рахунок мінімального зазору між мішалкою та стінкою резервуара, що зменшує застійні зони.
- Вони сприяють рівномірному розподілу швидкостей та напруг зсуву, що покращує ефективність процесу.
- Хоча енерговитрати можуть бути вищими, загальна ефективність перемішування зростає.

Методичні рекомендації:

• При розрахунках:

- Враховуйте одиниці вимірювання та перевіряйте розмірність отриманих результатів.
- При виборі N_r скористайтесь графіками або таблицями з довідкової літератури.

• Аналіз результатів:

- Порівняйте отримані потужності для різних рідин та зробіть висновки щодо енерговитрат.
- Обговоріть, як реологічні властивості впливають на параметри перемішування та вибір обладнання.

• Практичне застосування:

- Розгляньте реальні приклади з промисловості, де важливо враховувати реологічні властивості при перемішуванні.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Як реологічні властивості рідини впливають на вибір типу мішалки?
2. Що таке число Рейнольдса в контексті перемішування і як воно впливає на режим перемішування?
3. Чому при перемішуванні неньютонівських рідин необхідно враховувати їх ефективну в'язкість?
4. Як можна оптимізувати процес перемішування для високов'язких рідин?
5. Які особливості конструкції мішалок забезпечують ефективне перемішування різних типів рідин?

Практичне заняття №6. Реологія рідин: Визначення в'язкості та інших властивостей рідких середовищ

Мета заняття:

- Ознайомитися з основами реології рідин та значенням в'язкості у біотехнологічних процесах.
- Навчитися визначати в'язкість рідких середовищ за допомогою різних методів.
- Розглянути вплив факторів на реологічні властивості рідин і їх значення для практичного застосування.

План заняття:

- 1. Практичне виконання завдань (40 хвилин):**
 - Методи вимірювання в'язкості: капілярний віскозиметр, ротаційний віскозиметр.
 - Визначення в'язкості заданих рідких середовищ.
 - Побудова реологічних кривих та їх аналіз.
- 2. Аналіз результатів та обговорення (30 хвилин):**
 - Порівняння отриманих значень в'язкості для різних зразків.
 - Обговорення впливу різних факторів на реологічні властивості.
 - Розгляд практичних аспектів використання реологічних даних у біотехнології.
- 3. Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**
 - Узагальнення основних висновків.
 - Рекомендації щодо подальшого вивчення теми.

Короткі теоретичні відомості:

Реологія — це наука, що вивчає деформацію та плинність матеріалів під дією зовнішніх сил.

В'язкість (η) — це міра опору рідини до плинності або зсуву під дією зсувного напруження.

Види реологічної поведінки:

- 1. Ньютонівські рідини:**
 - В'язкість є постійною і не залежить від швидкості зсуву.
 - Закон Ньютона для в'язкої течії:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

де: τ – зсувне напруження, η – в'язкість, $\dot{\gamma}$ – градієнт швидкості

(швидкість зсуву).

2. Неньютонівські рідини:

- В'язкість залежить від швидкості зсуву.
- Типи неньютонівських рідин:
 - **Псевдопластичні** (рідини, що розріджуються при збільшенні швидкості зсуву).
 - **Дилатантні** (рідини, що густішають при збільшенні швидкості зсуву).
 - **Пластичні** (речовини з початковим напруженням зсуву).

Фактори, що впливають на в'язкість:

- **Температура:** Зі збільшенням температури в'язкість рідин зазвичай зменшується.
- **Концентрація розчинених речовин:** Зі збільшенням концентрації в'язкість часто підвищується.
- **Наявність твердих частинок або полімерів:** Може значно змінювати реологічні властивості.

Методи вимірювання в'язкості:

1. **Капілярні віскозиметри (віскозиметри Уббелодє):**
 - Вимірюють час протікання певного об'єму рідини через капіляр під дією сили тяжіння.
 - Застосовуються для ньютонівських рідин.
2. **Ротаційні віскозиметри:**
 - Вимірюють опір рідини під час обертання шпинделя у зразку.
 - Підходять для неньютонівських рідин.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Визначення в'язкості ньютонівської рідини за допомогою капілярного віскозиметра

Дано:

- Еталонна рідина (дистильована вода) з відомою в'язкістю $\eta_{\text{ет}}=1,002 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ при 20°C .
- Час протікання еталонної рідини через віскозиметр $t_{\text{ет}}$.
- Час протікання досліджуваної рідини $t_{\text{досл}}$.

Необхідно:

1. **Виміряти $t_{\text{ет}}$ та $t_{\text{досл}}$.**
2. **Розрахувати в'язкість досліджуваної рідини $\eta_{\text{досл}}$ за формулою:**

$$\eta_{\text{досл}} = \eta_{\text{ет}} \cdot \frac{t_{\text{досл}}}{t_{\text{ет}}}$$

Завдання 2. Побудова реологічної кривої для неньютонівської рідини

Дано:

- Набір значень зсувного напруження τ та відповідних швидкостей зсуву $\dot{\gamma}$, отриманих за допомогою ротаційного віскозиметра.

Необхідно:

1. Побудувати графік залежності $\tau=f(\dot{\gamma})$ – реологічну криву.
2. Визначити тип реологічної поведінки рідини (псевдопластична, дилатантна тощо).
3. Розрахувати ефективну в'язкість при різних швидкостях зсуву:

$$\eta_{\text{еф}} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Завдання 3. Аналіз впливу температури на в'язкість рідини

Дано:

- Виміряні значення в'язкості рідини при різних температурах (наприклад, 20°C, 30°C, 40°C).

Необхідно:

1. Побудувати графік залежності в'язкості від температури $\eta=f(T)$.
2. Проаналізувати характер залежності та зробити висновки.
3. Виразити залежність в'язкості від температури за формулою Андерсона:

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{E_a}{RT}}$$

де:

- η_0 – передекспоненційний множник,
- E_a – енергія активації плинності,
- R – газова стала,
- T – абсолютна температура.

Методичні рекомендації:

- Підготовка до експерименту:
 - Ознайомтеся з інструкціями до віскозиметрів.

- Переконайтеся в чистоті приладів та відсутності бульбашок повітря у зразках.
- **Виконання вимірювань:**
 - Для точності повторіть вимірювання кілька разів та розрахуйте середнє значення.
 - Дотримуйтеся постійних умов для всіх зразків (температура, обсяг тощо).
- **Обробка результатів:**
 - Зверніть увагу на одиниці вимірювання та конвертуйте їх за необхідності.
 - При побудові графіків використовуйте правильне масштабування та позначення осей.
- **Аналіз даних:**
 - Порівняйте отримані значення з літературними даними.
 - Визначте можливі причини відхилень та похибок.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Що таке реологія і яке її значення у біотехнології?
2. Чим відрізняються ньютонівські та неньютонівські рідини?
3. Як в'язкість залежить від температури і чому?
4. Які методи використовуються для вимірювання в'язкості рідин?
5. Що таке реологічна крива і яку інформацію вона дає?

Практичне заняття №7. Центрифугування: дослідження методів осадження

Мета заняття:

- Ознайомитися з принципами та методами центрифугування у біотехнологічних процесах.
- Розглянути фізичні основи осадження частинок під дією відцентрової сили.
- Навчитися розраховувати параметри центрифугування для різних типів суспензій.
- Вивчити вплив факторів (швидкість обертання, радіус ротора, час) на ефективність осадження.

План заняття:

1. **Практичне виконання завдань (40 хвилин):**

- Розрахунок параметрів центрифугування для заданих умов.
- Побудова графіків залежності швидкості осадження від розміру частинок.
- Визначення оптимальних умов центрифугування для різних суспензій.

2. **Аналіз та обговорення результатів (30 хвилин):**

- Обговорення отриманих результатів розрахунків.
- Вплив фізико-хімічних властивостей частинок та середовища на процес осадження.
- Порівняння методів диференціального та зонального центрифугування.

3. **Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**

- Узагальнення основних висновків.
- Рекомендації для самостійного вивчення.

Короткі теоретичні відомості:

Центрифугування – метод розділення компонентів суспензій або емульсій під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні зразка.

Основні поняття:

- **Відцентрова сила (F_c):**

$$F_c = m\omega^2 r$$

де:

- m – маса частинки,
- ω – кутова швидкість (рад/с),
- r – радіус обертання (м).
- **Швидкість осадження за рівнянням Стокса (v):**

$$v = \frac{2(\rho_p - \rho_f)gr^2}{9\eta}$$

де:

- ρ_p – густина частинки,
- ρ_f – густина середовища,
- g – прискорення вільного падіння,
- r – радіус частинки,
- η – в'язкість середовища.
- **Відносна відцентрова сила (RCF):**

$$RCF = 1.12 \times 10^{-5} \times r \times N^2$$

де:

- r – радіус обертання в см,
- N – швидкість обертання в об/хв.

Типи центрифуг:

- **Ультрацентрифуги:** для відділення дуже дрібних частинок (вірусів, макромолекул).
- **Аналітичні центрифуги:** для дослідження характеристик макромолекул.
- **Промислові центрифуги:** для великих об'ємів суспензій у виробництві.

Методи центрифугування:

- **Диференціальне центрифугування:** послідовне відділення частинок за розміром та щільністю.
- **Зональне (градієнтне) центрифугування:** використання градієнта густини для розділення компонентів.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Розрахунок відносної відцентрової сили (RCF)

Дано:

- Швидкість обертання ротора $N=15\ 000$ об/хв.
- Радіус обертання $r=10$ см.

Необхідно:

1. **Розрахувати RCF.**

Розв'язання:

$$\begin{aligned} RCF &= 1,12 \times 10^{-5} \times r \times N^2 = 1,12 \times 10^{-5} \times 10 \times (15\ 000)^2 \\ RCF &= 1,12 \times 10^{-5} \times 2\ 250\ 000\ 000 = 25\ 200 \end{aligned}$$

Відповідь: $RCF = 25,200 \times g$

Завдання 2. Визначення часу осадження частинок

Дано:

- Радіус частинки $r_p=0,5$ $\mu\text{м}$.
- Густина частинки $\rho_p=1,05$ г/см^3 .
- Густина середовища $\rho_f=1,00$ г/см^3 .
- В'язкість середовища $\eta=0,01$ $\text{Па}\cdot\text{с}$.
- $RCF = 25,200 \times g$
- Відстань осадження $L=5$ см .
- Прискорення вільного падіння $g=9,81$ м/с^2 .

Необхідно:

1. **Розрахувати швидкість осадження частинки v .**
2. **Визначити час осадження t .**

Розв'язання:

1. **Розрахунок прискорення відцентрової сили:**

$$c = RCF \times g = 25\,200 \times 9.81 = 247\,512 \text{ м/с}^2$$

2. **Перетворення розмірів:**

- Радіус частинки $r_p = 0.5 \text{ мкм} = 0.5 \times 10^{-6} \text{ м}$.
- Густина у кг/м^3 :
 - $\rho_p = 1.05 \text{ г/см}^3 = 1\,050 \text{ кг/м}^3$.
 - $\rho_f = 1.00 \text{ г/см}^3 = 1\,000 \text{ кг/м}^3$.

3. **Розрахунок швидкості осадження за модифікованим рівнянням Стокса:**

$$v = \frac{2(\rho_p - \rho_f)gr^2}{9\eta} = \frac{2}{9} \times \frac{50 \times 247512 \times 0,25 \times 10^{-12}}{0,01}$$
$$v = 6.875 \times 10^{-8} \text{ м/с}$$

4. **Розрахунок часу осадження:**

$$t = \frac{L}{v} = \frac{0,05}{6,875 \times 10^{-8}} \approx 727272 \text{ с}$$

Перетворимо в години:

$$t = 727\,272 / 3600 \approx 202 \text{ годин.}$$

Висновок: Час осадження частинки радіусом 0.5 мкм при заданих умовах надто великий. Необхідно збільшити RCF або використовувати інші методи для ефективного осадження.

Завдання 3. Оптимізація умов центрифугування

Необхідно:

1. Проаналізувати, як зміна швидкості обертання та радіусу ротора впливає на RCF.
2. Зробити розрахунок для нового ротора з радіусом 5 см та швидкістю 20,000 об/хв.

Розв'язання:

1. **RCF залежить від квадрату швидкості обертання та радіусу ротора:**

$$RCF \propto r \times N^2$$

2. **Розрахунок нового RCF:**

$$RCF_{\text{нове}} = 1,12 \times 10^{-5} \times 5 \times (20\,000)^2 = 1,12 \times 10^{-5} \times 5 \times 400\,000\,000 = 22\,400.$$

Хоча RCF зменшилось, збільшення швидкості обертання частково компенсує зменшення радіуса.

Висновок: Для досягнення високих значень RCF краще збільшувати швидкість обертання та використовувати ротори з

більшим радіусом.

Методичні рекомендації:

- **Під час розрахунків:**
 - Уважно перевіряйте одиниці вимірювання та конвертуйте їх, якщо необхідно.
 - Пам'ятайте про квадратичну залежність RCF від швидкості обертання.
- **При аналізі результатів:**
 - Оцінюйте практичну доцільність отриманих параметрів (час осадження, необхідність високих швидкостей).
 - Враховуйте фізико–хімічні характеристики частинок та середовища.
- **Прийняття рішень:**
 - Якщо час осадження занадто великий, розгляньте можливість використання градієнтного центрифугування або іншого методу розділення.
 - Звертайте увагу на обмеження обладнання (максимальна швидкість обертання, стійкість зразків).

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Який фізичний принцип лежить в основі центрифугування?
2. Як розрахувати відносну відцентрову силу (RCF)?
3. Чому рівняння Стокса використовується при розрахунку швидкості осадження?
4. Які фактори впливають на ефективність процесу центрифугування?
5. У чому відмінності між диференціальним та зональним центрифугуванням?

Практичне заняття №8. Випарювання та концентрування розчинів: Дослідження ефективності випарювальних апаратів

Мета заняття:

- Ознайомитися з принципами процесу випарювання та його значенням у біотехнологічних виробництвах.
- Розглянути конструкції та типи випарювальних апаратів.

- Навчитися розраховувати основні параметри випарювання та оцінювати ефективність випарювальних установок.
- Вивчити методи підвищення ефективності та енергоощадності процесу випарювання.

План заняття:

1. Практичне виконання завдань (40 хвилин):

- Розрахунок необхідної кількості теплоти для випарювання певної кількості розчинника.
- Визначення продуктивності випарювального апарату.
- Аналіз впливу тиску та температури на ефективність випарювання.

2. Аналіз та обговорення результатів (30 хвилин):

- Обговорення отриманих результатів розрахунків.
- Розгляд методів зниження енергоспоживання в процесі випарювання.
- Порівняння ефективності різних конструкцій випарювальних апаратів.

3. Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):

- Узагальнення основних висновків.
- Рекомендації для самостійного вивчення.

Короткі теоретичні відомості:

Випарювання – це процес вилучення леткої компоненти (зазвичай розчинника) з розчину шляхом її переходу в парову фазу при кипінні розчину.

Основні поняття:

- **Кипіння:** процес інтенсивного утворення бульбашок пари в об'ємі рідини при досягненні температури кипіння.
- **Температура кипіння** залежить від тиску: зі зниженням тиску температура кипіння зменшується.
- **Теплота випарювання** ($q_{\text{випар}}$): кількість теплоти, необхідна для випарювання 1 кг розчинника при певній температурі.

Тепловий баланс випарювального апарату:

- **Підведена теплота** ($Q_{\text{підв}}$) витрачається на:
 - Нагрівання розчину від початкової температури до температури кипіння.
 - Випарювання розчинника.

- Компенсацію тепловтрат.

Типи випарювальних апаратів:

- **Однокорпусні:** складаються з одного випарювального апарату.
- **Багатокорпусні:** кілька апаратів, з'єднаних послідовно, що дозволяє повторно використовувати тепло пари (ефект теплової економії).

Коефіцієнт корисної дії (ККД):

- Відношення корисно використаної теплоти до загальної підведеної.

Методи підвищення ефективності:

- Застосування багатокорпусних установок.
- Використання парокompресійного та термокомпресійного обігріву.
- Зниження тепловтрат шляхом ізоляції апаратів.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Розрахунок кількості теплоти, необхідної для випарювання

Дано:

- Початковий об'єм розчину $V_0=1000$ л.
- Початкова концентрація розчиненої речовини $C_0=5\%$.
- Потрібно отримати кінцеву концентрацію $C_k=20\%$.
- Початкова температура розчину $t_0=20^\circ\text{C}$.
- Температура кипіння розчину $t_{\text{кип}}=100^\circ\text{C}$.
- Тепло випаровування води при 100°C : $q_{\text{випар}}=2257$ кДж/кг.
- Питома теплоємність розчину $c=4,18$ кДж/(кг·К).
- Густина розчину приблизно дорівнює густині води $\rho=1000$ кг/м³.

Необхідно:

1. Розрахувати масу розчину та масу розчиненої речовини.
2. Визначити масу води, яку необхідно випарувати для досягнення потрібної концентрації.
3. Розрахувати кількість теплоти, необхідну для нагрівання розчину до точки кипіння.
4. Розрахувати кількість теплоти, необхідну для випаровування води.
5. Загальна кількість теплоти, необхідна для процесу.

Розв'язання:

1. **Маса початкового розчину:**

$$m_0 = V_0 \times \rho = 1000 \text{ л} \times 1 \text{ кг/л} = 1000 \text{ кг}$$

2. **Маса розчиненої речовини:**

$$m_{\text{реч}} = m_0 \times C_0 = 1000 \text{ кг} \times 0,05 = 50 \text{ кг}$$

3. **Кінцева маса розчину:**

$$m_k = m_{\text{реч}} / C_k = 50 \text{ кг} / 0,20 = 250 \text{ кг}$$

4. **Маса випарованої води:**

$$m_{\text{випар}} = m_0 - m_k = 1000 \text{ кг} - 250 \text{ кг} = 750 \text{ кг}$$

5. **Кількість теплоти для нагрівання:**

$$Q_{\text{наг}} = m_0 \times c \times (t_{\text{кип}} - t_0) = 1000 \text{ кг} \times 4,18 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)} \times (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{наг}} = 1000 \times 4,18 \times 80 = 334\,400 \text{ кДж}$$

6. **Кількість теплоти для випаровування:**

$$Q_{\text{випар}} = m_{\text{випар}} \times q_{\text{випар}} = 750 \text{ кг} \times 2257 \text{ кДж/кг} = 1\,692\,750 \text{ кДж}$$

7. **Загальна кількість теплоти:**

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{наг}} + Q_{\text{випар}} = 334\,400 \text{ кДж} + 1\,692\,750 \text{ кДж} = 2\,027\,150 \text{ кДж}$$

Завдання 2. Визначення продуктивності випарювального апарату

Дано:

- Кількість пари, що подається в апарат, має ентальпію $i_{\text{пара}} = 2750 \text{ кДж/кг}$.
- Конденсуючись, пара віддає приховану теплоту пароутворення $q_{\text{конденс}} = 2257 \text{ кДж/кг}$.
- Ефективність передачі тепла $\eta = 90$.
- Загальна кількість теплоти, необхідна для процесу $Q_{\text{заг}} = 2\,027\,150 \text{ кДж}$ (з попереднього завдання).

Необхідно:

1. **Розрахувати масу пари, необхідну для випаровування заданої кількості води.**
2. **Оцінити продуктивність апарату за годину роботи.**

Розв'язання:

1. **Корисна теплота від пари:**

$$Q_{\text{кор}} = m_{\text{пара}} \times q_{\text{конденс}} \times \eta$$

Звідси маса пари:

$$m_{\text{пара}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{q_{\text{конденс}} \times \eta} = \frac{2\,027\,150}{2257 \times 0,90} \approx 998,86 \text{ кг}$$

2. **Продуктивність апарату:**

Якщо процес триває t годин, продуктивність за випареною водою:

$$W_{\text{випар}} = m_{\text{випар}} / t$$

Припустимо, що процес займає 5 годин:

$$W_{\text{випар}} = 750 \text{ кг} / 5 \text{ год} = 150 \text{ кг/год}$$

Продуктивність за споживаною парою:

$$W_{\text{пара}} = m_{\text{пара}} / t = 998,86 \text{ кг} / 5 \text{ год} \approx 199,77 \text{ кг/год}$$

Методичні рекомендації:

- **При виконанні розрахунків:**
 - Уважно перевіряйте одиниці вимірювання та консистентність даних.
 - Використовуйте точні значення фізичних констант з довідників.
 - Пояснюйте кожен етап розрахунку для кращого розуміння процесу.
- **При аналізі результатів:**
 - Звертайте увагу на енергетичну ефективність та можливості її підвищення.
 - Розглядайте вплив зміни параметрів на загальну продуктивність та витрати.
- **Практичне застосування:**
 - Подумайте про екологічні аспекти процесу, такі як економія енергії та зниження викидів парникових газів.
 - Розгляньте можливість впровадження сучасних технологій для оптимізації випарювальних процесів.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Які основні відмінності між однокорпусними та багатокорпусними випарювальними апаратами?
2. Як зниження тиску впливає на температуру кипіння та енергоспоживання процесу випарювання?
3. Що таке теплота випаровування і від яких факторів вона залежить?
4. Які методи підвищення ефективності випарювальних апаратів ви знаєте?
5. Як визначається продуктивність випарювального апарату?

Практичне заняття №9. Ліофілізація біологічних матеріалів: Технологія сушіння заморожуванням

Мета заняття:

- Ознайомитися з принципами та технологією ліофілізації біологічних матеріалів.
- Розглянути фізико–хімічні основи процесу сушіння заморожуванням.
- Навчитися розраховувати основні параметри ліофілізації та оцінювати ефективність процесу.
- Вивчити застосування ліофілізації в біотехнології та фармацевтичній промисловості.

План заняття:

1. **Практичне виконання завдань (40 хвилин):**
 - Розрахунок кривої заморожування та сублімації для заданого матеріалу.
 - Визначення оптимальних параметрів процесу ліофілізації.
 - Аналіз впливу складу матеріалу на процес ліофілізації.
2. **Аналіз та обговорення результатів (30 хвилин):**
 - Обговорення отриманих результатів розрахунків.
 - Розгляд проблем та можливих ускладнень у процесі ліофілізації.
 - Порівняння ліофілізації з іншими методами сушіння.
3. **Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**
 - Узагальнення основних висновків.
 - Рекомендації для самостійного вивчення.

Короткі теоретичні відомості:

Ліофілізація – це метод видалення вологи з заморожених матеріалів шляхом сублімації льоду у вакуумі, що дозволяє зберегти структуру та активність біологічних речовин.

Основні етапи ліофілізації:

1. **Заморожування:**
 - Швидке заморожування матеріалу до температури нижче евтектичної точки.
 - Формування дрібних кристалів льоду для мінімізації пошкоджень структури.

2. Первинна сушка (сублімація):

- Видалення льоду шляхом його сублімації під зниженим тиском.
- Підтримання температури продукту нижче точки плавлення льоду.

3. Вторинна сушка (десорбція):

- Видалення зв'язаної вологи з матеріалу.
- Підвищення температури до безпечного рівня для продукту.

Ключові параметри процесу:

- **Температура конденсатора:** повинна бути нижче температури сублімації, щоб пари води конденсувалися.
- **Тиск у камері:** знижений до рівня, при якому відбувається сублімація (звичайно 0,05–0,1 мбар).
- **Швидкість нагрівання:** повинна бути контрольованою, щоб уникнути плавлення льоду.

Застосування ліофілізації:

- **Фармацевтика:** виготовлення стабільних ліофілізованих лікарських форм.
- **Біотехнологія:** збереження мікроорганізмів, ферментів, білків.
- **Харчова промисловість:** виготовлення сублімованих продуктів харчування з довгим терміном зберігання.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Розрахунок часу первинної сушки при ліофілізації

Дано:

- Біологічний матеріал масою $m=500$ г з початковою вологістю $W_0=80\%$.
- Площа поверхні зразка $A=0,1$ м².
- Тиск у ліофільній камері $P=0,1$ мбар.
- Температура продукту $T_{\text{продукту}}=-20^{\circ}\text{C}$.
- Температура конденсатора $T_{\text{конденсатора}}=-50^{\circ}\text{C}$.
- Тиск насиченої пари льоду при -20°C : $P_0=1,03$ мбар.
- Питомий тепловий потік сублімації $q=600$ Вт/м².

Необхідно:

1. Розрахувати масу льоду, яку потрібно сублімувати.
2. Визначити швидкість сублімації льоду.

3. Розрахувати час первинної сушки.

Розв'язання:

1. Маса льоду для сублімації:

Початкова маса води в матеріалі:

$$m_{\text{вода}} = m \times W_0 = 500 \text{ г} \times 0,8 = 400 \text{ г} = 0,4 \text{ кг}$$

2. Швидкість сублімації льоду (NN), кг/м²·с:

Швидкість сублімації можна оцінити за формулою:

$$N = \frac{P_0 - P}{R_s T_{\text{продукту}}} \times \sqrt{\frac{M}{2\pi RT_{\text{продукту}}}}$$

Де:

- R_s – універсальна газова стала $R_s = 8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.
- M – молярна маса води $M = 0,018 \text{ кг}/\text{моль}$.
- $T_{\text{продукту}}$ – температура продукту в Кельвінах
($T_{\text{продукту}} = -20^\circ\text{C} + 273,15 = 253,15 \text{ К}$).

Однак для спрощення в практичних розрахунках часто використовують емпіричні формули або питомий тепловий потік q .

3. Розрахунок часу первинної сушки (t):

Кількість теплоти, необхідна для сублімації льоду:

$$Q = m_{\text{вода}} \times \Delta H_{\text{сублімації}}$$

Де $\Delta H_{\text{сублімації}} \approx 2834 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Тоді час сушки:

$$t = \frac{Q}{q \times A}$$

Розрахуємо:

- $Q = 0,4 \text{ кг} \times 2834 \text{ кДж}/\text{кг} = 1133,6 \text{ кДж}$
- Оскільки $q = 600 \text{ Вт}/\text{м}^2 = 0,6 \text{ кДж}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, то
 $q \times A = 0,6 \text{ кДж}/(\text{с} \cdot \text{м}^2) \times 0,1 \text{ м}^2 = 0,06 \text{ кДж}/\text{с}$.
- Тоді:

$$t = \frac{1133,6}{0,06} \approx 18893,33 \text{ с}$$

Перетворимо в години:

$$t = 18893,33 / 3600 \approx 5,25 \text{ год.}$$

Завдання 2. Визначення оптимальних параметрів вторинної сушки

Необхідно:

1. Оцінити, який рівень вакууму та температура необхідні для ефективного видалення зв'язаної вологи.

2. Розрахувати приблизний час вторинної сушки при заданих умовах.

Розв'язання:

1. **Оптимальні умови:**

- Підняття температури продукту до $+20^{\circ}\text{C}$ для збільшення парціального тиску зв'язаної вологи.
- Зниження тиску в камері до мінімуму (наприклад, $P=0,01$ мбар).

2. **Розрахунок часу сушки:**

Як і в попередньому завданні, проте швидкість десорбції зв'язаної вологи менша, і питомий тепловий потік нижчий, наприклад, $q_{\text{втор}}=200$ Вт/м².

- Маса зв'язаної вологи, яку потрібно видалити:

$$m_{\text{зв'яз}}=m_{\text{вода}}-m_{\text{залишкова}}=0,4 \text{ кг}-m_{\text{залишкова}}$$

Припустимо, що залишкова вологість після вторинної сушки має бути 1%:

$$m_{\text{залишкова}}=m \times 0,01=500 \text{ г} \times 0,01=5 \text{ г}=0,005 \text{ кг}$$

Тоді:

$$m_{\text{зв'яз}}=0,4 \text{ кг}-0,005 \text{ кг}=0,395 \text{ кг}$$

- Кількість теплоти:

$$Q_{\text{втор}}=m_{\text{зв'яз}} \times \Delta H_{\text{десорбції}} \approx 0,395 \text{ кг} \times 2440 \text{ кДж/кг}=963,8 \text{ кДж}$$

- Час сушки:

$$t = \frac{Q_{\text{втор}}}{q_{\text{втор}} \times A} = \frac{963,8}{0,2 \times 0,1} = 48190 \text{ с}$$

Перетворимо в години:

$$t_{\text{втор}}=48 \text{ 190}/3600 \approx 13,38 \text{ год.}$$

Завдання 3. Аналіз впливу складу матеріалу на процес ліофілізації

Необхідно:

1. Пояснити, як зміна вмісту жирів у біологічному матеріалі впливає на процес ліофілізації.
2. Запропонувати методи поліпшення процесу для матеріалів з високим вмістом жирів.

Розв'язання:

1. **Вплив жирів:**

- Жири не замерзають при типових температурах ліофілізації, що може призвести до залишкової рідкої фази в продукті.

- **Гідрофобні властивості жирів** можуть ускладнити видалення вологи.
 - **Фазові переходи жирів** можуть впливати на структуру продукту та його стабільність.
2. **Методи поліпшення:**
- **Додавання емульгаторів** для кращого розподілу жирів і води.
 - **Зниження температури заморожування** для забезпечення твердіння жирів.
 - **Попередня десорбція вологи** при низьких температурах для зменшення впливу жирів.
 - **Використання кріопротекторів** для стабілізації структури продукту.

Методичні рекомендації:

- **При виконанні розрахунків:**
 - Завжди перевіряйте точність введених значень та використовуваних констант.
 - Консультуйтеся з довідковими таблицями для отримання необхідних фізико–хімічних даних.
- **При аналізі впливу складу матеріалу:**
 - Враховуйте унікальні характеристики кожного компонента (білки, жири, вуглеводи).
 - Розглядайте взаємодію компонентів під час процесу ліофілізації.
- **При обговоренні результатів:**
 - Порівняйте теоретичні розрахунки з практичними даними (якщо такі доступні).
 - Обговоріть можливі відхилення та їх причини.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Яка роль температури та тиску в процесі ліофілізації?
2. Чому вторинна сушка займає більше часу порівняно з первинною?
3. Як впливають цукри та жири на процес ліофілізації?
4. Які переваги ліофілізації перед іншими методами сушіння?
5. Як забезпечити стабільність біологічних матеріалів після ліофілізації?

Практичне заняття №10. Адсорбційні процеси: Дослідження адсорбції на активованому вугіллі

Мета заняття:

- **Ознайомитися** з основними принципами адсорбційних процесів у біотехнології.
- **Вивчити** механізми адсорбції на прикладі активованого вугілля.
- **Навчитися** проводити експериментальні дослідження адсорбції та аналізувати отримані результати.
- **Розрахувати** параметри адсорбції та побудувати ізотерми адсорбції за моделями Ленгмюра та Фройндліха.

План заняття:

1. **Практичне виконання завдань (40 хвилин):**
 - Експеримент з дослідження адсорбції барвника на активованому вугіллі.
 - Визначення рівноважних концентрацій та розрахунок кількості адсорбованої речовини.
 - Побудова ізотерм адсорбції та визначення параметрів моделей Ленгмюра та Фройндліха.
2. **Аналіз та обговорення результатів (30 хвилин):**
 - Обговорення отриманих даних та порівняння їх з теоретичними моделями.
 - Визначення ступеня відповідності експериментальних результатів моделям.
 - Обговорення можливих похибок та причин відхилень.
3. **Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**
 - Узагальнення ключових висновків.
 - Рекомендації для подальшого поглиблення знань.

Короткі теоретичні відомості:

Адсорбція – це процес накопичення молекул газу або розчиненої речовини (адсорбату) на поверхні твердої або рідкої фази (адсорбенту).

- **Фізична адсорбція:** відбувається за рахунок ван-дер-ваальсових сил та є зворотною.
- **Хемосорбція:** супроводжується утворенням хімічних зв'язків та, як правило, незворотна.

Активоване вугілля – пористий матеріал з високою адсорбційною ємністю завдяки великій поверхні та наявності мікро– та макропор.

Моделі адсорбції:

1. Ізотерма Ленгмюра:

Описує одношарову адсорбцію на гомогенній поверхні:

$$q = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

де:

- q – кількість адсорбату на одиницю маси адсорбенту (мг/г).
- q_{\max} – максимальна адсорбційна ємність (мг/г).
- K_L – константа Ленгмюра (л/мг).
- C_e – рівноважна концентрація адсорбату в розчині (мг/л).

2. Ізотерма Фройндліха:

Емпірична модель для гетерогенних систем:

$$q = K_F C_e^{1/n}$$

- K_F – константа адсорбції Фройндліха.
- $1/n$ — показник інтенсивності адсорбції.

Фактори, що впливають на адсорбцію:

- Природа адсорбенту та адсорбату.
- Температура.
- рН середовища.
- Наявність інших розчинених речовин.

Завдання та вправи для виконання:

1. Проведення експерименту з адсорбції барвника на активованому вугіллі

- **Матеріали та реактиви:**
 - Активоване вугілля (попередньо висушене).
 - Розчин барвника (наприклад, метиленового синього) з відомою концентрацією.
 - Мірні колби, піпетки, пробірки, фільтри.
 - Спектрофотометр для визначення концентрації барвника.
- **Хід роботи:**
 1. **Підготовка серії розчинів:**
 - Приготуйте серію розчинів барвника з різними початковими концентраціями (наприклад, 20, 40, 60, 80, 100 мг/л).

2. Взаємодія з активованим вугіллям:

- До кожного розчину додайте однакову масу активованого вугілля (наприклад, 0.5 г).
- Перемішуйте суміш протягом 1 години при постійній температурі.

3. Відділення адсорбенту:

- Після взаємодії відфільтруйте розчин для видалення активованого вугілля.

4. Визначення рівноважних концентрацій:

- Виміряйте концентрацію залишкового барвника у фільтраті за допомогою спектрофотометра.

5. Розрахунки:

- Визначте кількість адсорбованого барвника (q) за формулою:

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m}$$

де: C_0 – початкова концентрація барвника (мг/л); C_e – рівноважна концентрація після адсорбції (мг/л); V – об'єм розчину (л); m – маса адсорбенту (г).

2. Побудова ізотерм адсорбції

• Ізотерма Ленгмюра:

- Побудуйте графік залежності C_e/q від C_e .
- З рівняння прямої визначте q_{\max} та K_L .

• Ізотерма Фройндліха:

- Побудуйте графік залежності $\ln q$ від $\ln C_e$.
- З рівняння прямої визначте K_F та n .

3. Аналіз результатів

- Порівняйте відповідність експериментальних даних моделям Ленгмюра та Фройндліха.
- Обговоріть можливі причини відхилень.

Методичні рекомендації:

• Точність вимірювань:

- Використовуйте калібровані прилади.
- Повторюйте вимірювання тричі та обчислюйте середнє значення.

• Контроль умов:

- Підтримуйте постійну температуру протягом усього

експерименту.

- Забезпечте однаковий час взаємодії для всіх проб.
- **Безпека:**
 - Дотримуйтеся правил роботи з хімічними реактивами.
 - Працюйте в захисному одязі та рукавичках.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Що таке адсорбція і чим вона відрізняється від абсорбції?
2. Які фактори впливають на ефективність адсорбції на активованому вугіллі?
3. Як за експериментальними даними визначити параметри ізотерми Ленгмюра?
4. Чому модель Фройндліха вважається емпіричною, і в яких випадках вона застосовується?
5. Як впливає температура на процес адсорбції?

Практичне заняття №11. Рідинно–рідинна екстракція: Вилучення біологічно активних речовин з рослинної сировини

Мета заняття:

- **Ознайомитися** з принципами рідинно–рідинної екстракції як методу вилучення біологічно активних речовин (БАР) з рослинної сировини.
- **Вивчити** основні процеси та фактори, що впливають на ефективність екстракції.
- **Навчитися** проводити експериментальні дослідження з екстракції та аналізувати отримані результати.
- **Розрахувати** параметри екстракції та побудувати діаграми розподілу БАР між фазами.

План заняття:

1. **Практичне виконання завдань (40 хвилин):**
 - **Експеримент** з екстракції алкалоїдів із рослинної сировини.
 - Визначення коефіцієнта розподілу та ефективності екстракції.
 - Побудова діаграм розподілу та аналіз отриманих даних.

2. **Аналіз та обговорення результатів (30 хвилин):**
 - Обговорення впливу різних факторів на процес екстракції.
 - Порівняння теоретичних та експериментальних результатів.
 - Розгляд шляхів підвищення ефективності екстракції.
3. **Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**
 - Узагальнення основних висновків.
 - Рекомендації для подальшого вивчення та практичного застосування.

Короткі теоретичні відомості:

Рідинно–рідинна екстракція – це процес розділення компонентів суміші між двома взаємно нерозчинними або обмежено розчинними рідинами (фазами) на основі різниці в розподілі речовин між цими фазами.

Основні поняття:

- **Коефіцієнт розподілу (Kd):**

$$K_d = C_2 / C_1$$

де:

- C_2 – концентрація речовини в екстрагенті (органічній фазі),
- C_1 – концентрація речовини у вихідному розчині (водній фазі).
- **Розподілення Нернста:**
 - Для ідеальних систем коефіцієнт розподілу залишається постійним при незмінній температурі.

Фактори, що впливають на екстракцію:

- **Природа екстрагенту:**
 - Розчинність БАР, взаємодія з розчинниками.
- **Температура:**
 - Впливає на розчинність та коефіцієнт розподілу.
- **pH середовища:**
 - Може змінювати форму існування БАР (йонна чи нейтральна).
- **Співвідношення фаз:**
 - Вибір оптимального об'єму екстрагенту для ефективного вилучення.

Вибір екстрагенту:

- Нерозчинність з водною фазою.

- Висока розчинність БАР.
- Стабільність та низька токсичність.
- Доступність та економічність.

Методи екстракції:

- **Одноразова екстракція:**
 - Одноразове контактування фаз.
- **Багатократна екстракція:**
 - Кілька послідовних екстракцій з меншими об'ємами екстрагенту.

Завдання та вправи для виконання:

1. Експеримент з екстракції алкалоїдів із рослинної сировини

- **Матеріали та реактиви:**
 - Подрібнена рослинна сировина (наприклад, кора хінного дерева).
 - Розчинник для екстракції (наприклад, хлороформ або етилацетат).
 - Водний розчин кислоти (наприклад, розчин HCl).
 - Реактиви для якісного та кількісного визначення алкалоїдів.
 - Скляний посуд: делителі, мірні колби, пірути, піпетки.
- **Хід роботи:**
 - 1. Підготовка рослинної сировини:**
 - Подрібнення та зважування певної маси сировини (наприклад, 50 г).
 - Обробка сировини водним розчином кислоти для переведення алкалоїдів у сольову форму.
 - 2. Проведення екстракції:**
 - Розміщення водного розчину з алкалоїдами у делитель.
 - Додавання екстрагенту в певному співвідношенні (наприклад, 1.1 або 1.0,5 щодо водної фази).
 - Енергійне перемішування фаз протягом 10 хвилин при контрольованій температурі.
 - Розділення фаз та збір органічної (екстрагентної) фази.

3. **Багатократна екстракція:**
 - Повторення процесу екстракції з тією ж водною фазою, використовуючи свіжі порції екстрагенту.
 - Збір всіх екстрагентних фаз разом.
4. **Зворотне переведення алкалоїдів у водну фазу:**
 - Обробка зібраної органічної фази водним розчином луку для переведення алкалоїдів у базову форму.
 - Відділення водної фази, яка містить алкалоїди.
5. **Аналіз отриманих зразків:**
 - Визначення концентрації алкалоїдів у вихідному розчині та після кожного етапу екстракції (наприклад, методом спектрофотометрії).

- **Розрахунки:**

- **Коефіцієнт розподілу (Kd):**

$$Kd = C_{\text{екстрагент}} / C_{\text{водна фаза}}$$

- **Ступінь вилучення (R):**

$$R = \left(1 - \frac{C_{\text{водна фаза кін}}}{C_{\text{водна фаза поч}}} \right) \times 100\%$$

- **Розрахунок ефективності багатократної екстракції:**

$$C_n = C_o \left(\frac{V_{\text{водн}}}{V_{\text{водн}} + Kd \times V_{\text{екстр}}} \right)^n$$

де: C_n – концентрація після n екстракцій, $V_{\text{водн}}$ – об'єм водної фази, $V_{\text{екстр}}$ – об'єм екстрагенту, n – кількість екстракцій.

Методичні рекомендації:

- **Підготовка до експерименту:**

- **Ретельно підготувати сировину**, забезпечивши максимальну площу контакту (дрібно подрібнення).
- **Вибір екстрагенту** повинен базуватися на розчинності цільових БАР та його безпеці.

- **Проведення екстракції:**

- **Забезпечити ефективне перемішування фаз** для покращення масообміну.
- **Контроль температури** може бути важливим,

оскільки деякі БАР можуть бути термолабільними.

- **Безпека:**
 - Працювати в **витяжній шафі** при роботі з леткими та токсичними розчинниками.
 - Використовувати **захисний одяг**, рукавички та окуляри.
 - **Уникати відкритого вогню** при роботі з легкозаймистими екстрагентами.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Що таке коефіцієнт розподілу і як він впливає на процес екстракції?
2. Які фактори визначають вибір оптимального екстрагенту?
3. Чим відрізняється одноразова екстракція від багатократної?
4. Як зміна рН середовища може вплинути на екстракцію БАР?
5. Які заходи безпеки необхідно дотримуватися при проведенні рідинно–рідинної екстракції?

Практичне заняття №12. Осадження білків: Методика осадження цільових білкових продуктів

Мета заняття:

- **Ознайомитися** з методиками осадження білків як важливого етапу виділення та очищення біологічно активних речовин.
- **Вивчити** фізико–хімічні принципи осадження білкових молекул з розчинів.
- **Навчитися** проводити експериментальні дослідження з осадження білків, використовуючи різні методи та реагенти.
- **Розрахувати** параметри осадження та оцінити ефективність процесу.

План заняття:

1. **Практичне виконання завдань (50 хвилин):**
 - **Завдання 1.** Осадження білків шляхом додавання сульфату амонію.
 - **Завдання 2.** Осадження білків ізоелектричним методом (зміна рН).
 - **Завдання 3.** Порівняння ефективності різних методів осадження та визначення концентрації білка в осаді та супернатанті.

2. **Аналіз та обговорення результатів (20 хвилин):**
 - Обговорення отриманих даних та порівняння ефективності методів.
 - Розгляд можливих проблем та шляхів їх вирішення при осадженні білків.
3. **Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**
 - Узагальнення ключових висновків.
 - Рекомендації для подальшого вивчення та практичного застосування.

Короткі теоретичні відомості:

Білки – це високомолекулярні органічні сполуки, що складаються з амінокислот, з'єднаних пептидними зв'язками. Їх структура та властивості залежать від послідовності амінокислот та просторової організації.

Принципи осадження білків:

1. **Осадження нейтральними солями (солюбілізація):**
 - **Сульфат амонію ((NH₄)₂SO₄)** — найбільш поширена сіль для осадження білків.
 - Механізм: при підвищенні концентрації солей розчинність білків зменшується через зниження гідратації білкових молекул.
2. **Ізоелектричне осадження (зміна рН):**
 - **Ізоелектрична точка (pI)** — значення рН, при якому сумарний заряд білка дорівнює нулю.
 - При досягненні pI білки мають мінімальну розчинність і осаджуються.
3. **Осадження органічними розчинниками:**
 - Використовуються етанол, ацетон в охолоджену стані.
 - Органічні розчинники знижують діелектричну проникність середовища, що призводить до зниження розчинності білків.
4. **Осадження полімерними реагентами:**
 - **Поліетиленгліколь (ПЕГ)** — використовується для селективного осадження білків.
 - Полімерні молекули викликають виключення білків з розчину через об'ємний ефект.

Фактори, що впливають на осадження:

- **Концентрація реагенту:** визначає ступінь зниження розчинності білка.
- **Температура:** зниження температури сприяє осадженню, особливо при використанні органічних розчинників.
- **Час інкубації:** тривалість контакту білка з реагентом впливає на повноту осадження.
- **pH середовища:** впливає на заряд білкових молекул та їх взаємодію з розчином.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Осадження білків сульфатом амонію

Необхідно:

1. Провести осадження білка з розчину шляхом насичення сульфатом амонію до 50% та 80% насиченості.
2. Визначити концентрацію білка в осаді та супернатанті після кожного етапу.

Матеріали та реактиви:

- Розчин сироваткового білка (наприклад, 5 мг/мл).
- Сульфат амонію сухий.
- Буферний розчин (наприклад, 0,05 М фосфатний буфер, pH 7,0).
- Прилади: центрифуга, спектрофотометр, аналітичні ваги, піпетки, пробірки.

Хід роботи:

1. **Осадження при 50% насиченні сульфатом амонію:**
 - Розрахуйте масу сульфату амонію, необхідну для досягнення 50% насиченості в заданому об'ємі розчину білка, використовуючи таблиці розчинності.
 - Додайте сульфат амонію поступово, постійно перемішуючи.
 - Інкубуйте при +4°C протягом 30 хвилин.
 - Відцентрифугуйте при 10 000 об/хв протягом 15 хвилин.
 - Зберіть супернатант для наступного етапу, осад розчиніть у мінімальному об'ємі буфера.
2. **Осадження при 80% насиченні:**
 - До зібраного супернатанту додайте додаткову кількість сульфату амонію для досягнення 80% насиченості.

- Повторіть попередні кроки: перемішування, інкубація, центрифугування.
3. **Визначення концентрації білка:**
- Використовуючи метод Бредфорда або УФ–спектрофотометрію при 280 нм, визначте концентрацію білка в осаді та супернатанті після кожного етапу.
 - Розрахуйте відсоток виділеного білка на кожному етапі.

Завдання 2. Ізоелектричне осадження білків

Необхідно:

1. **Провести осадження білка шляхом поступового зниження рН розчину до ізоелектричної точки цільового білка.**
2. **Визначити кількість білка, що осадився, та залишився в розчині.**

Матеріали та реактиви:

- Розчин білка з відомою ізоелектричною точкою (наприклад, казеїн, $pI \approx 4,6$).
- Буферні розчини різного рН (наприклад, ацетатні буфери).
- Кислота (наприклад, оцтова кислота) для зниження рН.
- Прилади як у попередньому завданні.

Хід роботи:

1. **Початковий розчин:**
 - Розведіть білок у буферному розчині з $pH > pI$ (наприклад, $pH 7,0$).
2. **Зниження рН:**
 - Поступово додавайте кислоту, контролюючи рН за допомогою рН–метра.
 - При досягненні рН, близького до pI білка (приблизно 4,6), з'явиться осад.
3. **Інкубація та центрифугування:**
 - Інкубуйте при кімнатній температурі протягом 30 хвилин.
 - Відцентрифугуйте для відділення осаду.
4. **Визначення концентрації білка:**
 - Визначте концентрацію білка в супернатанті.
 - Розрахуйте кількість осадженого білка.

Завдання 3. Порівняння методів та аналіз ефективності

Необхідно:

1. Порівняти ефективність осадження білків методами солубілізації та ізоелектричного осадження.
2. Оцінити чистоту отриманих продуктів методом електрофорезу в поліакриламідному гелі (PAGE).

Хід роботи:

1. **Порівняння кількісних даних:**
 - Зведіть отримані дані щодо концентрації білка та відсотку осадження у таблицю.
 - Проаналізуйте, який метод забезпечує більший вихід цільового білка.
2. **Аналіз чистоти:**
 - Проведіть PAGE для зразків білка з обох методів.
 - Оцініть число та інтенсивність смуг на гелі, що відповідають різним білкам.
 - Зробіть висновки щодо чистоти отриманих препаратів.

Методичні рекомендації:

- **Точність вимірювань:**
 - Всі вагові та об'ємні вимірювання проводьте з високою точністю.
 - Ретельно розчиняйте сульфат амонію, уникаючи нерозчинених кристалів.
- **Контроль умов:**
 - Підтримуйте постійну температуру, особливо при роботі з термолабільними білками.
 - Уникайте бурхливого перемішування, щоб запобігти денатурації білків.
- **Безпека:**
 - При роботі з хімічними реагентами використовуйте захисні окуляри та рукавички.
 - Дотримуйтесь правил безпеки при роботі з електрофорезом (PAGE).

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Які принципи лежать в основі осадження білків сульфатом амонію?
2. Що таке ізоелектрична точка білка і як вона впливає на його

- розчинність?
3. Які фактори можуть впливати на ефективність осадження білків?
 4. Чим відрізняється осадження білків органічними розчинниками від осадження солями?
 5. Як можна оцінити чистоту отриманого білка після осадження?

Практичне заняття №13. Методи сушіння: порівняння ефективності

Мета заняття:

- **Ознайомитися** з різними методами сушіння, що застосовуються в біотехнології та харчовій промисловості.
- **Вивчити** принципи роботи та особливості конвективного, контактного та вакуумного сушіння.
- **Навчитися** проводити експериментальні дослідження з сушіння біологічних матеріалів різними методами.
- **Порівняти** ефективність методів сушіння за такими параметрами, як швидкість сушіння, збереження властивостей продукту, енергоефективність.

План заняття:

1. **Практичне виконання завдань (50 хвилин):**
 - **Завдання 1.** Проведення сушіння зразків біологічного матеріалу (наприклад, фруктів або ферментних препаратів) методом конвективного сушіння.
 - **Завдання 2.** Проведення сушіння тих самих зразків методом вакуумного сушіння.
 - **Завдання 3.** Вимірювання параметрів процесу та порівняння результатів між методами.
2. **Аналіз та обговорення результатів (20 хвилин):**
 - Обговорення отриманих даних щодо часу сушіння, кінцевої вологості, збереження властивостей продукту.
 - Розгляд переваг та недоліків кожного методу в залежності від типу матеріалу.
3. **Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**

- Узагальнення основних висновків щодо ефективності методів сушіння.
- Рекомендації для вибору оптимального методу в залежності від специфіки продукту.

Короткі теоретичні відомості:

Сушіння – це процес видалення вологи з матеріалу шляхом її випаровування з поверхні та перенесення парів у навколишнє середовище.

Основні методи сушіння:

1. Конвективне сушіння:

- **Принцип дії:** передача тепла до матеріалу через нагріте повітря, що циркулює навколо або через матеріал.
- **Обладнання:** сушильні камери, тунелі, розпилювальні сушарки.
- **Переваги:**
 - Придатне для великих обсягів матеріалу.
 - Відносно проста конструкція обладнання.
- **Недоліки:**
 - Можливе перегрівання та термічне пошкодження продукту.
 - Нерівномірне сушіння через формування кірок на поверхні.

2. Вакуумне сушіння:

- **Принцип дії:** сушіння при зниженому тиску, що знижує температуру кипіння вологи та прискорює процес випаровування.
- **Обладнання:** вакуумні сушильні шафи, вакуумні лоткові сушарки.
- **Переваги:**
 - Збереження термолабільних компонентів продукту.
 - Зниження окислювальних процесів.
- **Недоліки:**
 - Більш складне та дороге обладнання.
 - Менша продуктивність порівняно з конвективним сушінням.

3. Контактне (барабанне) сушіння:

- **Принцип дії:** матеріал наноситься тонким шаром на нагріту поверхню (барабан), волога випаровується при контакті.
 - **Переваги:**
 - Швидке сушіння.
 - Придатне для рідких та пастоподібних матеріалів.
 - **Недоліки:**
 - Можливе пригорання продукту.
 - Обмеження за типом матеріалу.
4. **Мікрохвильове та інфрачервоне сушіння:**
- Використовують електромагнітне випромінювання для нагрівання матеріалу зсередини.
 - **Переваги:** швидке сушіння, рівномірне видалення вологи.
 - **Недоліки:** висока вартість обладнання, потреба в специфічних умовах безпеки.

Критерії ефективності сушіння:

- **Швидкість сушіння:** час, необхідний для досягнення заданої вологості.
- **Енерговитрати:** кількість енергії, витраченої на випаровування 1 кг вологи.
- **Якість продукту:** збереження активності, структури, кольору, аромату.
- **Вихід продукту:** кінцева маса сухого продукту.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Конвективне сушіння зразків

Необхідно:

1. Підготувати зразки біологічного матеріалу (наприклад, нарізані шматочки яблук або ферментний препарат у рідкій формі, нанесений на підкладку).
2. Встановити параметри сушіння: температура повітря (наприклад, 60°C), швидкість повітряного потоку.
3. Провести сушіння, вимірюючи масу зразків через певні інтервали часу (наприклад, кожні 15 хвилин) до досягнення постійної маси.
4. Зареєструвати дані щодо часу сушіння та кінцевої вологості.

Завдання 2. Вакуумне сушіння зразків

Необхідно:

1. Підготувати аналогічні зразки як у Завданні 1.
2. Встановити параметри сушіння: температура нагріву (наприклад, 40°C), тиск у камері (наприклад, 10 кПа).
3. Провести сушіння у вакуумній сушильній шафі, вимірюючи масу зразків через ті самі інтервали часу.
4. Зареєструвати дані щодо часу сушіння та кінцевої вологості.

Завдання 3. Аналіз результатів та порівняння

Необхідно:

1. Побудувати криві сушіння для кожного методу, показуючи залежність вологості зразка від часу.
2. Порівняти швидкість сушіння між методами.
3. Оцінити якість продукту після сушіння (зовнішній вигляд, колір, аромат, можливо, біологічна активність).
4. Розрахувати енерговитрати на процес сушіння (якщо є можливість зібрати дані про спожиту енергію).

Методичні рекомендації:

- **Підготовка зразків:**
 - Забезпечте однакову масу та розміри зразків для коректного порівняння.
 - Використовуйте точні ваги для вимірювання маси.
- **Проведення сушіння:**
 - Підтримуйте стабільні параметри процесу (температура, тиск).
 - Уникайте відкриття сушильних камер без необхідності, щоб не порушувати умови.
- **Вимірювання та реєстрація даних:**
 - Ретельно записуйте час кожного вимірювання та відповідну масу зразка.
 - Використовуйте засоби захисту при роботі з гарячими поверхнями та обладнанням під вакуумом.
- **Аналіз якості продукту:**
 - Візуально оцініть зразки на наявність змін кольору, форми.
 - Якщо можливе, проведіть тест на залишкову активність (наприклад, ферментативну активність).

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Які основні механізми теплопередачі та масопереносу в процесі сушіння?
2. Як зниження тиску впливає на температуру кипіння вологи в матеріалі?
3. Які переваги та недоліки конвективного сушіння порівняно з вакуумним?
4. Чому важливо контролювати температуру при сушінні термолабільних матеріалів?
5. Як можна інтенсифікувати процес сушіння без погіршення якості продукту?

Практичне заняття №14. Проєктування біореакторів

Мета заняття:

- **Ознайомитися** з основами проєктування біореакторів для різних біотехнологічних процесів.
- **Вивчити** основні конструктивні елементи біореакторів та їх вплив на ефективність біопроектів.
- **Навчитися** розробляти проєкт біореактора з урахуванням специфіки певного біотехнологічного процесу.
- **Розрахувати** основні інженерні параметри біореактора, такі як об'єм, співвідношення висоти до діаметра, параметри аерації та перемішування.

План заняття:

1. Практичне виконання завдань (60 хвилин):

Завдання 1. Розробка проєкту біореактора для аеробного культивування мікроорганізмів з метою виробництва ферментів.

Завдання 2. Розрахунок основних інженерних параметрів біореактора.

Завдання 3. Вибір та обґрунтування конструктивних особливостей біореактора.

2. Аналіз та обговорення результатів (20 хвилин):

- Представлення проєктів студентами.
- Обговорення вибору конструкції та параметрів.
- Розгляд можливих проблем та шляхів їх вирішення.

3. Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):

- Узагальнення ключових висновків.
- Рекомендації для подальшого вивчення та

застосування.

Короткі теоретичні відомості:

Біореактор – це апарат, призначений для проведення біотехнологічних процесів за участю мікроорганізмів, клітин, ферментів чи інших біологічних агентів.

Основні типи біореакторів:

1. З механічним перемішуванням:

- Оснащені мішалками для забезпечення рівномірності середовища.
- Використовуються для аеробних процесів з високими вимогами до масообміну.

2. Пневматичні (з аераційним перемішуванням):

- Перемішування здійснюється за рахунок подачі повітря або газу.
- Простіша конструкція, менші зсувні напруження.

3. Мембранні біореактори:

- Використовують мембрани для розділення компонентів або подачі газів.
- Застосовуються для культивування клітин тварин, очищення стічних вод.

4. Фотобіореактори:

- Спеціалізовані біореактори для культивування фотосинтезуючих організмів (водоростей).
- Забезпечують оптимальне освітлення та контроль параметрів.

Основні конструктивні елементи:

- **Корпус:** виготовляється з нержавіючої сталі або скла, забезпечує стерильність та герметичність.
- **Мішалки:** різні типи (пропелерні, лопатеві) для забезпечення оптимального перемішування.
- **Система аерації:** форсунки, дифузори для подачі повітря або газу.
- **Теплообмінні пристрої:** сорочки охолодження, внутрішні змійовики для підтримання оптимальної температури.
- **Датчики та системи контролю:** для вимірювання параметрів (температура, рН, розчинений кисень).

Розрахунок основних параметрів:

1. Об'єм біореактора (V):

- Визначається на основі продуктивності процесу та об'ємної швидкості росту мікроорганізмів.
- 2. **Співвідношення висоти до діаметра (H/D):**
 - Зазвичай в межах 2:1 до 5:1.
 - Впливає на гідродинаміку та ефективність масообміну.
- 3. **Швидкість перемішування (N):**
 - Визначається з урахуванням забезпечення гомогенності та потреби в масообміні.
 - Розраховується за допомогою числа Рейнольдса та критерія потужності.
- 4. **Параметри аерації:**
 - Питома витрата повітря (Q_{air}) на одиницю об'єму.
 - Необхідна для підтримання концентрації розчиненого кисню.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Розробка проєкту біореактора для аеробного культивування

Необхідно:

1. **Визначити технологічні вимоги:**
 - Мета процесу: виробництво ферменту амілази за допомогою штаму *Aspergillus niger*.
 - Необхідна продуктивність: отримати 5000 одиниць активності ферменту за 48 годин.
 - Параметри культивування: температура 28°C, рН 6.0, питома швидкість росту $\mu = 0.25 \text{ год}^{-1}$.
2. **Розрахувати об'єм біореактора (V):**
 - Використовуючи дані про вихід ферменту на одиницю біомаси та концентрацію клітин.
3. **Визначити конструктивні параметри:**
 - Розрахувати висоту (H) та діаметр (D) біореактора з врахуванням $H/D = 3$.
 - Визначити необхідну кількість та тип мішалок.
4. **Описати вибір конструктивних елементів:**
 - Система аерації, матеріали, системи контролю.

Розв'язання:

1. **Розрахунок об'єму біореактора:**
 - Припустимо, що вихід ферменту становить 100

одиниць активності на 1 г сухої біомаси.

- Необхідна маса біомаси:

$$m_{\text{біомаса}} = \frac{5000 \text{ од.}}{100 \text{ од./г}} = 50 \text{ г}$$

- Припустимо кінцева концентрація біомаси $X_{\text{кінц}}=5 \text{ г/л}$.
- Тоді об'єм біореактора:

$$V = \frac{50 \text{ г}}{5 \text{ г/л}} = 10 \text{ л}$$

- Для промислового процесу масштаб збільшуємо в 100 разів:

$$V_{\text{пром}} = 10 \text{ л} \times 100 = 1000 \text{ л/}$$

2. Розрахунок діаметра та висоти:

- $H/D = 3$.
- Об'єм циліндра:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 H = \frac{\pi D^2 H}{4}$$

При $H = 3D$:

$$V = \frac{\pi D^2 \times 3D}{4} = \frac{3\pi D^3}{4}$$

Вирішуємо відносно D :

$$D = \left(\frac{4V}{3\pi}\right)^{1/3} = \left(\frac{4 \times 1000}{3\pi}\right)^{1/3}$$

Підставляємо:

$$D = \left(\frac{4000}{9,42}\right)^{1/3} \approx 7,5 \text{ м}$$

Це надто великий діаметр для об'єму 1000 л. Очевидно, виникла помилка в розрахунках.

Для біореактора об'ємом 1000 л діаметр 7,5 м є неприйнятним. Очевидно, помилка в розрахунках пов'язана з неправильною одиницею вимірювання. Потрібно перевести об'єм в м^3 :

$$V = 1000 \text{ л} = 1 \text{ м}^3.$$

Тоді:

$$D = \left(\frac{4 \times 1}{9,42}\right)^{1/3} \approx 0,75 \text{ м}$$

Висота:

$$H = 3D = 3 \times 0,75 = 2,25 \text{ м}.$$

3. Вибір конструктивних елементів:

- Мішалки:

- Дві турбінні мішалки з відстанню між ними 1 м для забезпечення рівномірного перемішування.
- **Система аерації:**
 - Перфорована трубка на дні для рівномірної подачі повітря.
- **Матеріали:**
 - Нержавіюча сталь AISI 316L для контактуючих з продуктом частин.
- **Системи контролю:**
 - Датчики температури, рН, розчиненого кисню.
 - Автоматизована система регулювання параметрів.

Методичні рекомендації:

- **Уважність при розрахунках:**
 - Перевіряйте одиниці вимірювання (л, м³, кг) та переводьте їх, коли необхідно.
 - Використовуйте точні значення π та інші константи.
- **Врахування практичних аспектів:**
 - Переконайтеся, що запропоновані розміри та конструкції є реалістичними та відповідають промисловим стандартам.
- **Аргументація рішень:**
 - Обґрунтуйте вибір кожного елемента конструкції з точки зору ефективності та економічності.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Які принципи відмінності між різними типами біореакторів?
2. Як правильно розрахувати об'єм та розміри біореактора?
3. Чому важливо дотримуватися співвідношення висоти до діаметра (H/D)?
4. Які фактори впливають на вибір матеріалів для біореактора?
5. Яку роль відіграють системи контролю та автоматизації в біореакторах?

Практичне заняття №15. Культивування дріжджів для біотехнологічних процесів

Мета заняття:

- Ознайомитися з основними принципами культивування дріжджів у біотехнології.
- Навчитися планувати процес культивування дріжджів для отримання біотехнологічних продуктів.
- Розглянути фактори, що впливають на ріст та метаболічну активність дріжджів.
- Вивчити методи контролю та оптимізації процесу культивування.

План заняття:

1. Практичне виконання завдань (40 хвилин):

- Планування процесу культивування дріжджів для заданого продукту (наприклад, етилового спирту, біомаси, ферментів).
- Розрахунок параметрів процесу (об'єм культурального середовища, температура, рН, аерація).
- Створення схеми біореактора та системи контролю параметрів.

2. Аналіз та обговорення (30 хвилин):

- Обговорення впливу умов культивування на ріст та продуктивність дріжджів.
- Розгляд можливих проблем та способів їх вирішення у процесі культивування.

3. Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):

- Узагальнення основних результатів.
- Відповіді на питання студентів та рекомендації щодо самостійної роботи.

Короткі теоретичні відомості:

Дріжджі — це одноклітинні еукаріотичні мікроорганізми, що належать до царства грибів. У біотехнології найбільш поширеними є дріжджі роду *Saccharomyces*, зокрема *Saccharomyces cerevisiae*.

Застосування дріжджів у біотехнології:

- **Бродильні виробництва:** виробництво етилового спирту, пива, вина.

- **Харчова промисловість:** отримання дріжджового білка, харчових добавок.
- **Фармацевтична промисловість:** синтез ферментів, вітамінів, рекомбінантних білків.
- **Біоенергетика:** виробництво біоетанолу як альтернативного палива.

Фактори, що впливають на культивування дріжджів:

- **Склад живильного середовища:** джерела вуглецю (глюкоза, меляса), азоту, фосфору, мікроелементи.
- **Фізико-хімічні умови:** температура (оптимально 28–30°C), рН середовища (оптимально 4,5–6,0), аерація (для аеробних метаболічних шляхів).
- **Тип культивування:** періодичне (batch), безперервне (continuous), напівперіодичне (fed–batch).
- **Система перемішування:** забезпечує рівномірний розподіл поживних речовин та газів.

Методи контролю процесу:

- **Моніторинг концентрації біомаси:** оптична щільність, суха маса.
- **Вимірювання концентрації субстратів та продуктів:** глюкоза, етанол.
- **Контроль параметрів середовища:** температура, рН, розчинений кисень.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Планування процесу культивування дріжджів для виробництва біоетанолу

Ситуація:

Необхідно розробити план культивування дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* з метою отримання біоетанолу в лабораторних умовах із подальшим масштабуванням процесу.

Необхідно:

1. **Вибрати оптимальні умови культивування:**
 - Склад живильного середовища.
 - Температура та рН середовища.
 - Режим аерації та перемішування.
2. **Розрахувати параметри процесу:**
 - Об'єм біореактора.
 - Кількість інокулюму (початкової культури).

- Тривалість процесу досягнення максимальної концентрації етилового спирту.
- 3. **Створити схему біореактора:**
 - Нанести основні елементи: резервуар, мішалка, аератор, датчики контролю параметрів.

Завдання 2. Аналіз впливу факторів на ріст дріжджів

Необхідно:

1. **Скласти таблицю залежності швидкості росту дріжджів від температури та рН середовища.**
2. **Побудувати графіки залежності:**
 - Швидкість росту від температури.
 - Швидкість росту від рН.
3. **Зробити висновки про оптимальні умови для максимального росту дріжджів.**

Завдання 3. Розробка плану масштабування процесу

Необхідно:

1. Розрахувати масштабування процесу культивування з лабораторних умов (1 л) до промислових (1000 л).
2. Врахувати вплив масштабування на параметри процесу:
 - Аерація.
 - Перемішування.
 - Відведення тепла.
3. **Визначити можливі проблеми при масштабуванні та запропонувати способи їх вирішення.**

Методичні рекомендації:

- **При виконанні завдань:**
 - Зверніть увагу на фізіологічні потреби дріжджів: вони можуть змінювати метаболічні шляхи залежно від умов (аеробні та анаеробні умови).
 - Використовуйте літературні джерела для підбору оптимальних умов культивування.
 - При розрахунках враховуйте сталі величини, такі як коефіцієнти виходу продукту, специфічна швидкість росту.
- **Створення схеми біореактора:**
 - Врахуйте конструктивні особливості апарату (форма, матеріали).
 - Позначте місця встановлення датчиків, введення

середовища та відведення продукту.

• **При масштабуванні:**

- Згадайте принципи геометричної, механічної та динамічної подібності.
- Розгляньте методи інтенсифікації процесу для збереження продуктивності при збільшенні об'ємів.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Які основні ролі дріжджів у біотехнологічних процесах?
2. Які фактори впливають на ріст та метаболічну активність дріжджів?
3. У чому полягає різниця між періодичним та безперервним культивуванням?
4. Як аерація впливає на виробництво етилового спирту дріжджами?
5. Які проблеми можуть виникати при масштабуванні процесу культивування?

**Практичне заняття №16. Масштабування біореакторів:
Вивчення факторів при переході від лабораторних до
промислових масштабів**

Мета заняття:

- **Зрозуміти основні принципи масштабування** біопроцесів від лабораторних до промислових масштабів.
- **Вивчити ключові фактори**, що впливають на процес масштабування, такі як гідродинаміка, масообмін, теплообмін, стерильність та контроль параметрів.
- **Навчитися розраховувати основні параметри** масштабування та **розробляти стратегії** переходу для забезпечення оптимальної продуктивності.
- **Аналізувати реальні приклади** масштабування та обговорити можливі проблеми та їх вирішення.

План заняття:

1. **Практичні завдання (40 хвилин):**
 - Розрахунок параметрів масштабування для заданого процесу.
 - Аналіз впливу масштабування на параметри процесу.
 - Розробка плану переходу з лабораторного до

промислового масштабу.

2. **Аналіз та обговорення результатів (30 хвилин):**
 - Обговорення результатів розрахунків.
 - Дискусія про виклики та рішення при масштабуванні.
3. **Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**
 - Узагальнення основних висновків.
 - Рекомендації щодо подальшого вивчення.

Короткі теоретичні відомості:

Масштабування біореакторів – це процес перенесення біотехнологічного процесу з лабораторного (малого) масштабу до промислового (великого) масштабу з метою отримання збільшених обсягів продукту при збереженні його якості та ефективності процесу.

Ключові фактори масштабування:

1. **Геометрична подібність:**
 - Збереження пропорцій конструкції апарату.
 - Відношення між висотою та діаметром (H/D).
2. **Гідродинамічна подібність:**
 - **Число Рейнольдса (Re):** характеризує режим потоку (ламінарний або турбулентний).

$$Re = \frac{\rho ND^2}{\mu}$$

де: ρ – густина середовища, N – швидкість обертання мішалки, – D – діаметр мішалки, μ – в'язкість середовища.

3. **Масообмін:**
 - **Коефіцієнт масопереносу кисню ($k_L a$):** важливий для аеробних біопроцесів.
 - Впливає на швидкість росту мікроорганізмів та продуктивність процесу.
4. **Теплообмін:**
 - Виділення тепла під час біопроцесів потребує ефективного охолодження.
 - У великих об'ємах відведення тепла стає складнішим.
5. **Біологічні аспекти:**
 - **Зсувні напруження:** можуть впливати на життєздатність клітин.
 - **Масштабні градієнти:** неоднорідність параметрів (pH, DO, субстрати).

Методи масштабування:

1. **За числом Рейнольдса ($Re = \text{const}$):**
 - Збереження режиму потоку.
2. **За питомою потужністю перемішування ($P/V = \text{const}$):**
 - Підтримка інтенсивності перемішування.
3. **За коефіцієнтом масопереносу ($k_L a = \text{const}$):**
 - Забезпечення однакових умов масообміну.
4. **Комплексні методи:**
 - Комбінація кількох критеріїв подібності.

Проблеми при масштабуванні:

- **Невідповідність умов:** параметри, оптимальні в лабораторії, можуть не працювати у великих масштабах.
- **Зміна гідродинаміки:** різні режими течії в апаратах різного розміру.
- **Вплив масштабування на клітини:** підвищення зсувних напружень, різниця у доступності субстратів.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Розрахунок параметрів масштабування за критерієм питомої потужності перемішування

Дано:

- **Лабораторний біореактор:**
 - Об'єм: $V_{\text{лаб}}=5$ л.
 - Швидкість обертання мішалки: $N_{\text{лаб}}=400$ об/хв .
 - Діаметр мішалки: $D_{\text{лаб}}=0,05$ м.
 - Густина середовища: $\rho=1000$ кг/м³.
- **Промисловий біореактор:**
 - Об'єм: $V_{\text{пром}}=5000$ л.
 - Діаметр мішалки: $D_{\text{пром}}=0,5$ м.

Необхідно:

1. **Розрахувати питому потужність перемішування в лабораторному біореакторі (P/V).**
2. **Визначити швидкість обертання мішалки в промисловому біореакторі, зберігши $P/V=\text{const}$.**

Розв'язання:

1. **Розрахунок питомої потужності в лабораторному біореакторі:**

Потужність перемішування можна оцінити за формулою для турбулентного режиму:

$$P = N_P \rho N^3 D^5$$

де N_P – коефіцієнт потужності (для турбінної мішалки $N_P \approx 5$).

Розрахуємо потужність в лабораторному біореакторі:

$$P_{\text{лаб}} = 5 \times 1000 \times (400/60)^3 \times (0,05)^5$$

Переведемо N в об/с:

$$N_{\text{лаб}} = 400/60 \approx 6,67 \text{ об/с}$$

Тоді:

$$P_{\text{лаб}} = 5 \times 1000 \times (6,67)^3 \times (0,05)^5$$

$$P_{\text{лаб}} = 5 \times 1000 \times 296,3 \times 3,125 \times 10^{-7}$$

$$P_{\text{лаб}} = 5 \times 1000 \times 0,0000926 \approx 0,463 \text{ Вт}$$

Питома потужність:

$$\left(\frac{P}{V}\right)_{\text{лаб}} = \frac{0,463}{0,005} = 92,6 \text{ Вт/м}^3$$

2. Розрахунок швидкості обертання мішалки в промисловому біореакторі:

Тепер, виразимо швидкість обертання $N_{\text{пром}}$:

$$P_{\text{пром}} = N_P \rho N_{\text{пром}}^3 D_{\text{пром}}^5$$

Вирішимо відносно $N_{\text{пром}}$:

$$N_{\text{пром}}^3 = \frac{P_{\text{пром}}}{N_P \rho D_{\text{пром}}^5}$$

Підставимо значення:

$$N_{\text{пром}}^3 = \frac{463}{5 \times 1000 \times (0,5)^5} = 2,963$$

$$N_{\text{пром}} \approx 1,44 \text{ об/с}$$

Переведемо в об/хв:

$$N_{\text{пром}} = 1,44 \times 60 \approx 86,4 \text{ об/хв}$$

Завдання 2. Аналіз впливу масштабування на масоперенос

Необхідно:

1. Оцінити, як зміниться коефіцієнт масопереносу кисню ($k_{L,a}$) при масштабуванні, зберігаючи ті ж умови аерації.
2. Запропонувати способи компенсації можливого зниження $k_{L,a}$ у промисловому біореакторі.

Розв'язання:

1. Коефіцієнт масопереносу кисню ($k_{L,a}$) залежить від:

- Інтенсивності перемішування (швидкість обертання мішалки).
- Об'єму реактора.
- Конструктивних особливостей.

При масштабуванні зі зниженням швидкості обертання мішалки k_L зазвичай зменшується.

2. Способи компенсації:

- Збільшення швидкості обертання мішалки (в межах механічних можливостей).
- Зміна конструкції мішалки для покращення масообміну (наприклад, використання багатоярусних мішалок).
- Підвищення інтенсивності аерації (збільшення подачі повітря).
- Використання додаткових пристроїв для збільшення поверхні масообміну (наприклад, дифузори, пористі аератори).

Методичні рекомендації:

- Чітко розумійте критерії, за якими проводите масштабування, та аргументуйте свій вибір.
- Перевіряйте одиниці вимірювання на всіх етапах розрахунків.
- Розглядайте практичну реалізацію отриманих результатів, враховуючи обмеження обладнання та безпеку процесу.
- Враховуйте біологічні аспекти, оскільки мікроорганізми можуть по-різному реагувати на зміни умов.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Що таке геометрична, гідродинамічна та кінетична подібності?
2. Чому збереження лише одного критерію подібності може не забезпечити успішне масштабування?
3. Які основні проблеми виникають при масштабуванні біопротесів?
4. Як впливають зсувні напруження на мікроорганізми при різних масштабах?
5. Які методи можна застосувати для покращення масопереносу в промислових біореакторах?

Практичне заняття №17. Інтенсифікація процесів ферментації: Оптимізація умов для підвищення виходу продукту

Мета заняття:

- **Ознайомитися** з методами інтенсифікації процесів ферментації в біотехнології.
- **Вивчити** фактори, що впливають на ефективність ферментаційних процесів.
- **Навчитися** проводити оптимізацію умов культивування мікроорганізмів для підвищення виходу цільового продукту.
- **Розрахувати** основні параметри процесу та проаналізувати отримані результати.

План заняття:

1. **Практичне виконання завдань (50 хвилин):**
 - **Завдання 1.** Оптимізація температури та рН середовища для максимального синтезу біопродукту.
 - **Завдання 2.** Розрахунок параметрів аерації та перемішування для забезпечення оптимального масообміну.
 - **Завдання 3.** Аналіз впливу концентрації субстрату на швидкість росту мікроорганізмів та вихід продукту.
2. **Аналіз та обговорення результатів (20 хвилин):**
 - Обговорення отриманих даних та визначення оптимальних умов процесу.
 - Розгляд можливих проблем та шляхів їх вирішення при масштабуванні оптимізованих умов.
3. **Підсумки заняття та відповіді на запитання (10 хвилин):**
 - Узагальнення ключових висновків.
 - Рекомендації для подальшого вивчення та практичного застосування.

Короткі теоретичні відомості:

Ферментація – це біотехнологічний процес, в якому мікроорганізми або ферменти використовуються для перетворення сировини в цінні продукти, такі як органічні кислоти, спирти, антибіотики тощо.

Інтенсифікація процесу ферментації – це сукупність заходів, спрямованих на підвищення ефективності процесу, збільшення

виходу цільового продукту та скорочення часу культивування.

Фактори, що впливають на ферментацію:

- **Температура:** впливає на швидкість росту мікроорганізмів та активність ферментів.
- **pH середовища:** впливає на проникність клітинних мембран та активність ферментативних систем.
- **Аерація та перемішування:** забезпечують постачання кисню та рівномірне розподілення поживних речовин.
- **Склад живильного середовища:** оптимальне співвідношення джерел вуглецю, азоту та мікроелементів.
- **Концентрація субстрату:** занадто висока може призводити до інгібування росту, занадто низька — до недостатнього синтезу продукту.

Методи оптимізації:

- **Однофакторний аналіз:** зміна одного параметра при фіксованих інших.
- **Статистичні методи:** дозволяють одночасно варіювати декілька факторів та визначати їх взаємодію.

Завдання та вправи для виконання:

Завдання 1. Оптимізація температури та pH середовища

Дано:

- Мікроорганізм: *Saccharomyces cerevisiae* (дріжджі).
- Параметри для перевірки:
 - **Температура:** 25°C, 30°C, 35°C.
 - **pH середовища:** 4.0, 5.0, 6.0.
- Вимірювані показники:
 - Швидкість росту (μ).
 - Вихід етанолу ($Y_{P/S}$).

Необхідно:

1. **Побудувати матрицю експерименту** для комбінацій температури та pH.
2. **Виконати розрахунок** швидкості росту та виходу продукту для кожної комбінації (дані можуть бути надані або змодельовані).
3. **Визначити оптимальні умови** для максимального виходу етанолу.

Розв'язання:

1. **Матриця експерименту:**

№ досліду	Температура (°C)	pH
1	25	4.0
2	25	5.0
3	25	6.0
4	30	4.0
5	30	5.0
6	30	6.0
7	35	4.0
8	35	5.0
9	35	6.0

2. Проведення експерименту (у даному випадку використовуємо умовні дані):

№ досліду	Температура (°C)	pH	Швидкість росту (μ), год ⁻¹	Вихід етанолу (Y _{P/S}), г/г
1	25	4.0	0.20	0.40
2	25	5.0	0.25	0.45
3	25	6.0	0.22	0.42
4	30	4.0	0.28	0.50
5	30	5.0	0.35	0.60
6	30	6.0	0.30	0.55
7	35	4.0	0.25	0.48
8	35	5.0	0.30	0.52
9	35	6.0	0.28	0.50

3. Аналіз результатів:

- Максимальна швидкість росту (μ) та вихід етанолу (Y_{P/S}) спостерігаються при температурі 30°C та pH 5.0 (дослід №5).
- **Оптимальні умови:** Температура 30°C, pH 5.0.

Завдання 2. Розрахунок параметрів аерації та перемішування

Дано:

- Об'єм ферментера: V=1000 л.
- Культура: *Bacillus subtilis* (аеробний мікроорганізм).
- Необхідно забезпечити коефіцієнт масопередачі кисню $k_{La}=200$ год⁻¹.
- Діаметр ферментера: D=1,2 м.
- В'язкість середовища: $\mu=1.5 \times 10^{-3}$ Па·с.

- Густина середовища: $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$.

Необхідно:

1. **Розрахувати швидкість обертання мішалки (N)** для забезпечення заданого k_{La} .
2. **Визначити необхідну витрату повітря (Q_{air})** для аерації.

Розв'язання:

1. **Розрахунок швидкості обертання мішалки:**

- Використовуємо емпіричну формулу для k_{La} :

$$k_{La}=A \times N^b \times Q_{air}^c$$

де A, b, c – константи процесу.

- Припускаємо, що $b=0,8$, $c=0,6$, A – знайдена експериментально.
 - Для спрощення візьмемо відносні значення та порівняємо з відомими даними.
2. **Визначення необхідної витрати повітря:**
 - Якщо відомо, що при $N_0=150 \text{ об/хв}$, $Q_{air0}=1 \text{ м}^3/\text{год}$, $k_{La0}=100 \text{ год}^{-1}$.
 - Використовуючи співвідношення:

$$\frac{k_{La}}{k_{La0}} = \left(\frac{N}{N_0}\right)^b \left(\frac{Q_{air}}{Q_{air0}}\right)^c$$

Підставимо відомі значення:

$$\frac{200}{100} = \left(\frac{N}{150}\right)^{0,8} \left(\frac{Q_{air}}{1}\right)^{0,6}$$

- Спрошуємо:

$$2 = \left(\frac{N}{150}\right)^{0,8} (Q_{air})^{0,6}$$

- Для визначення N та Q_{air} , можемо зафіксувати одне з значень та розрахувати інше.
- **Приклад:** Фіксуємо $Q_{air}=2 \text{ м}^3/\text{год}$.

Тоді:

$$2 = \left(\frac{N}{150}\right)^{0,8} (2)^{0,6}$$

$$\left(\frac{N}{150}\right)^{0,8} = \frac{2}{1,516}$$

$$N = 150 \times 1,62 \approx 243 \text{ об/хв}$$

3. **Висновок:**

- Необхідно встановити швидкість обертання мішалки

$N \approx 243$ об/хв та витрату повітря $Q_{\text{air}} = 2$ м³/год.

Завдання 3. Аналіз впливу концентрації субстрату на вихід продукту

Дано:

- Мікроорганізми: *E. coli*.
- Субстрат: глюкоза.
- Концентрації глюкози в середовищі: 10 г/л, 20 г/л, 30 г/л, 40 г/л, 50 г/л.
- Вимірюваний показник: вихід біомаси (X), г/л.

Необхідно:

1. Побудувати графік залежності виходу біомаси від концентрації субстрату.
2. Визначити оптимальну концентрацію субстрату для максимального виходу біомаси.
3. Обговорити можливий вплив ефекту інгібування при високих концентраціях субстрату.

Розв'язання:

1. Експериментальні дані (умовні):

Концентрація глюкози (г/л)	Вихід біомаси (г/л)
10	5
20	9
30	12
40	11
50	9

2. Побудова графіка:

- По осі X — концентрація глюкози.
- По осі Y — вихід біомаси.
- Графік показує, що вихід біомаси збільшується до концентрації 30 г/л, після чого починає знижуватися.

3. Аналіз:

- **Оптимальна концентрація субстрату:** 30 г/л.
- **Можливий ефект інгібування:**
 - При високих концентраціях субстрату можлива **осмотична стресовість** для клітин.
 - Накопичення метаболітів, що інгібують ріст мікроорганізмів.
 - Порушення балансу внутрішньоклітинних процесів.

Методичні рекомендації:

- Виконуйте всі експерименти в однакових умовах, змінюючи лише один параметр для точності результатів.
- Звертайте увагу на можливі побічні ефекти та небажані реакції при оптимізації умов.
- Документуйте всі спостереження та результати для подальшого аналізу.

Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Які основні фактори впливають на процес ферментації і як вони взаємодіють між собою?
2. Чому однофакторний підхід до оптимізації може бути менш ефективним порівняно зі статистичними методами планування експерименту?
3. Що таке ефект інгібування субстратом і як він впливає на біопроцес?
4. Як аерація та перемішування впливають на процес ферментації аеробних мікроорганізмів?
5. Які методи можна використовувати для інтенсифікації ферментаційних процесів на промисловому рівні?

Курсова робота.

Курсова робота з дисципліни «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв» є важливою складовою навчального процесу для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія». Вона спрямована на закріплення теоретичних знань, розвиток практичних навичок та підготовку до самостійної професійної діяльності.

Мета курсової роботи полягає у поглибленні знань студентів з теоретичних основ процесів та апаратів біотехнологічних виробництв, розвиток умінь проводити інженерні розрахунки, аналізувати та проектувати технологічні процеси та обладнання.

Завдання курсової роботи:

- **Розвиток навичок самостійної роботи:** вміння організувати власний час, планувати етапи роботи та досягати поставлених цілей.
- **Поглиблення теоретичних знань:** вивчення сучасних наукових досліджень та технологій у галузі біотехнології.
- **Практичне застосування знань:** виконання розрахунків, проектування апаратів, аналіз технологічних процесів.
- **Розвиток інженерного мислення:** здатність критично оцінювати технічні рішення, обґрунтовувати вибір обладнання та методів.
- **Підготовка до науково–дослідницької діяльності:** формування навичок написання наукового тексту, оформлення графічних матеріалів, представлення результатів дослідження.

Тематика курсових робіт повинна відповідати змісту дисципліни та бути актуальною для сучасної біотехнології. Студенти можуть обрати тему з переліку, затвердженого кафедрою, або запропонувати власну тему за погодженням з науковим керівником.

Курсова робота повинна мати наступну структуру:

1. Титульна сторінка
2. Завдання на курсову роботу
3. Зміст
4. Вступ
5. Основна частина:
 - 5.1. Огляд літератури та вибір напрямку дослідження
 - 5.2. Технологічний опис процесу та характеристика продукту

- 5.3. Технічна характеристика апарату
 - 5.4. Розрахункова частина:
 - Гідродинамічні розрахунки
 - Масообмінні розрахунки
 - Теплові розрахунки
 - 5.5. Проектування апарата та обґрунтування вибору конструкції
6. Вибір загальнозаводського обладнання
 7. Техніка безпеки та промислова санітарія
 8. Висновки
 9. Список використаних джерел
 10. Додатки (якщо необхідно)

Вимоги до змісту:

- Вступ повинен містити обґрунтування актуальності теми, мету та завдання роботи.
- Огляд літератури має відображати сучасний стан досліджуваної проблеми, аналіз існуючих технологій та обладнання.
- Основна частина повинна містити детальний опис технологічного процесу, розрахунки та аналіз отриманих результатів.
- Висновки мають відображати основні досягнення роботи, практичну значущість та рекомендації щодо подальших досліджень.

Вимоги до оформлення:

- Обсяг роботи: 30–40 сторінок друкованого тексту без урахування додатків.
- Формат сторінки: А4, поля – ліве 30 мм, праве 15 мм, верхнє та нижнє по 20 мм.
- Шрифт: Times New Roman, кегль 14, інтервал 1.5.
- Нумерація сторінок: з другого аркуша, розташована у правому верхньому куті.
- Посилання на джерела: оформлені згідно з чинними стандартами.
- Оформлення формул, таблиць та рисунків: пронумеровані, з підписами та посиланнями в тексті.

Етапи виконання курсової роботи:

1. **Вибір теми та затвердження завдання (1 тиждень)**

- Ознайомлення зі списком тем.
 - Узгодження теми з керівником.
 - Отримання завдання на курсову роботу.
2. **Складання плану роботи (2 тиждень)**
 - Визначення основних розділів.
 - Установлення термінів виконання окремих частин.
 3. **Збір та аналіз літературних джерел (3–4 тиждень)**
 - Пошук наукових статей, монографій, патентів.
 - Конспектування та аналіз інформації.
 4. **Написання теоретичної частини (5–6 тиждень)**
 - Огляд літератури.
 - Визначення методів та підходів до розв'язання поставлених завдань.
 5. **Виконання розрахунків та проєктування (7–9 тиждень)**
 - Проведення необхідних розрахунків.
 - Розробка конструкції апарату.
 - Побудова схем та креслень.
 6. **Оформлення роботи (10 тиждень)**
 - Підготовка текстової частини згідно з вимогами.
 - Оформлення графічних матеріалів.
 7. **Попередня перевірка та коригування (11 тиждень)**
 - Передача роботи науковому керівнику.
 - Внесення правок та доопрацювання.
 8. **Підготовка до захисту (12 тиждень)**
 - Підготовка доповіді та презентації.
 - Репетиція виступу.
 9. **Захист курсової роботи (13 тиждень)**
 - Представлення роботи комісії.
 - Відповіді на запитання.

Методичні рекомендації щодо виконання курсової роботи:

- При виборі теми орієнтуйтеся на власні інтереси та актуальність проблематики.
- Плануючи роботу, уважно розподіліть час на кожен етап, враховуючи можливі затримки.
- Під час збору літератури використовуйте сучасні джерела, переважно останніх 5 років.
- Розрахунки виконуйте акуратно, наводьте необхідні формули та пояснення.

- При проектуванні апарату враховуйте технологічні вимоги, критерії економічності та безпеки.
- Оформлюючи роботу, дотримуйтесь встановлених стандартів та рекомендацій.
- Під час підготовки до захисту зосередьтеся на основних результатах та їх значущості.

Критерії оцінювання курсової роботи наведені у силабусі дисципліни.

Рекомендації щодо підготовки графічної частини:

- Графічні матеріали (креслення, схеми) виконуються у відповідності до стандартів ЄСКД.
- На кресленнях мають бути вказані всі необхідні розміри, технічні вимоги та позначення.
- Використовуйте комп'ютерні програми для креслення (AutoCAD, SolidWorks тощо) для підвищення якості.

Поради щодо успішного захисту курсової роботи:

- Підготуйте презентацію, що висвітлює основні аспекти роботи.
- Підкресліть новизну та практичну значущість отриманих результатів.
- Підготуйтеся до можливих запитань, пов'язаних з темою дослідження.
- Відпрацюйте доповідь, щоб вкладатися у відведений час (10–15 хвилин).
- Будьте впевненими, аргументуйте свої рішення та висновки.

Виконання курсової роботи є важливим етапом у підготовці фахівців з біотехнології та біоінженерії. Вона сприяє розвитку професійних компетентностей, необхідних для успішної діяльності в сучасних біотехнологічних виробництвах. Дотримання методичних рекомендацій та активна взаємодія з керівником забезпечать високу якість виконаної роботи та успішний захист.

Примітка: Усі питання, що виникають в процесі виконання курсової роботи, слід обговорювати з керівником або відповідальним викладачем.

Рекомендована література

1. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості : монографія. Львів : Інтелект-Захід, 2008. 736 с.
2. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв : навч. посіб. у 3 ч. Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2004. 240 с.
3. Василенко С. М., Українець А. І., Олішевський В. В. Основи тепломасообміну : підручник / за ред. І. С. Гулого ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2014. 250 с.
4. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості : підручник / М. В. Стасевич, А. О. Милянчик, Л. С. Стрельников та ін. Львів : Новий Світ-2000, 2016. 410 с.
5. Новіков В. П. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв : навч. посіб. Вінниця : Нова книга, 2012. 408 с.
6. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуешов та ін. Вінниця : Нова книга, 2009. 816 с.
7. Луценко В. В. Технічна механіка рідини і газу : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2008. 128 с.
8. Ружинська Л. І., Остапенко Ж. І., Калініна М. Ф., Воробйова О. В. Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв : практикум : навч. посіб. Київ : Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського", 2023. 66 с.
9. Doran P. M. Bioprocess Engineering Principles. 2nd ed. London : Academic Press, 2013. 929 p.
10. Shuler M. L., Kargi F. Bioprocess Engineering: Basic Concepts. 3rd ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2017. 656 p.
11. Nielsen J., Villadsen J., Lidén G. Bioreaction Engineering Principles. 3rd ed. New York : Springer, 2017. 600 p.
12. Stanbury P. F., Whitaker A., Hall S. J. Principles of Fermentation Technology. 3rd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2016. 824 p.
13. Harrison R. G., Todd P., Rudge S. R., Petrides D. P. Bioseparations Science and Engineering. 2nd ed. New York : Oxford University Press, 2015. 624 p.

14. Vogel H. C., Todaro C. L. Fermentation and Biochemical Engineering Handbook. 3rd ed. Norwich : William Andrew Publishing, 2014. 712 p.