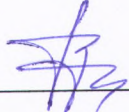


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Біологічний факультет
Кафедра генетики та біотехнології

Затверджено на засіданні кафедри
генетики та біотехнології
біологічного факультету Львівського
національного університету імені Івана Франка
(протокол № 17 від 29.08.2025 р.)

Завідувач кафедри  проф. Віктор ФЕДОРЕНКО

Силабус навчальної дисципліни
“Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв”,
що викладається в межах ОПП Біотехнології та біоінженерія
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів спеціальності 162 - Біотехнології та біоінженерія

**Силабус курсу «Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв»
2025/2026 н.р.**

Назва дисципліни	Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв.
Адреса викладання дисципліни	вул. Грушевського 4, м. Львів, 79005.
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	біологічний факультет, кафедра генетики та біотехнології.
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	16 Хімічна та біоінженерія / 162 Біотехнології та біоінженерія.
Викладачі дисципліни	Доцент кафедри генетики та біотехнології, біологічного факультету, ЛНУ ім. Івана Франка, доцент кафедри біотехніки та інженерії, факультету біотехнології і біотехніки, КПІ ім. Ігоря Сікорського Костик Сергій Ігорович
Контактна інформація викладачів	kostyk.serhii@lil.kpi.ua @KostykSerhii (Telegram)
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації можуть бути в день проведення лекцій/практичних занять: за умови дистанційного навчання з використанням платформи Zoom; за умови аудиторного навчання – в аудиторії, яка визначена розкладом. Для швидкої комунікації створено група в Telegram. Для погодження часу консультацій слід писати в групу Telegram.
Сторінка дисципліни	
Інформація про дисципліну	Предметом навчальної дисципліни «Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв» є теоретичні засади механічних, гідромеханічних, теплових та дифузійних процесів, які відбуваються та використовуються під час підготовки поживних середовищ, підготовки повітря, культивування біологічних агентів та при виділенні, очищення біологічно активних речовин (БАР) і при отриманні мікробних мас, особливості конструкцій, принципи розрахунку, вибору та експлуатації основного устаткування біотехнологічних виробництв.
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв» є нормативною дисципліною зі спеціальності 162 – Біотехнології та біоінженерія для ОПП «Біотехнології та біоінженерія»

	<p>для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, яка викладається в V семестрі в обсязі 4 кредитів (за ECTS). Програма навчального курсу складається з таких змістових модулів:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Теплові явища та процеси в обладнанні біотехнологічних виробництв. 2. Основи гідравліки. Переміщення рідин та газів. Гідравлічні машини і апарати біотехнологічних виробництв. 3. Масообмінні процеси в обладнанні біотехнологічних виробництв. 4. Устаткування для концентрування та відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів. 5. Перед ферментаційні процедури і відповідне обладнання. 6. Основи вибору та розрахунку ферментаційної апаратури. 7. Устаткування для оброблення нативних розчинів та біомас. Сушіння продуктів мікробного синтезу та відповідне обладнання. <p>Дисципліна передбачає проведення 32 год практичних робіт.</p>
<p>Мета та цілі дисципліни</p>	<p>Метою навчальної дисципліни «Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв» є вивчення теоретичних закономірностей гідродинамічних, теплових, масообмінних процесів ферментації та обробки культуральних рідин, ознайомлення студентів з особливостями конструкцій та методик розрахунку машин і апаратів для практичної реалізації вказаних процесів, устаткування для проведення перед ферментаційних, ферментаційних процесів, процесів концентрування, відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів, процесів сушіння.</p>
<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування [Текст]/Навч. посібник / Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков. – Львів: «Інтелект-Захід», 2008. – 736 с. 2. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв [Текст]. Ч.І. Ферментація: Навч. посібник / Ю. І. Сидоров,

	<p>Р.Й. Влязло, В.П. Новиков. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 240 с.</p> <p>3. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв [Текст]/ Ч.П. Оброблення культуральних рідин: Навч. посібник/ Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 296 с.</p> <p>4. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підручник/ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011.-Ч.1-416с.</p> <p>5. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підручник/ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011.-Ч.2-416 с.</p> <p>6. Врагов А.П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних та газонафтопереробних виробництв: Навч. посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 284 с.</p> <p>7. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості: підручник / М.В. Стасевич, А.О. Милянч, Л.С. Стрельников та ін.– Львів: «Новий Світ-2000», 2017. – 410 с.</p> <p>8. Ружинська Л.І. Проектування реакторів змішувачів біотехнологічних та фармацевтичних виробництв. Навч. посібник/Укладачі: Л.І. Ружинська, І А Буртна, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 130.</p> <p>9. R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. Transport Phenomena. John Wiley & Sons, Second edition, 2006, p.928.</p> <p>10. Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв. Лабораторний практикум (Частина 1) [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ., які навчаються за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія», освітньої програми «Біотехнології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. І. Ружинська, М. В. Шафаренко, О. В. Воробйова. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,31 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського,</p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>2021. – 76 с. (3,8 ав. арк) https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41330</p> <p>11. Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв-2. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» освітньої програми «Біотехнології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. І. Ружинська, М. В. Шафаренко, О. В. Воробйова. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,40 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 66 с. (3,3 ав. арк) https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35989</p>
Тривалість дисципліни	Один семестр.
Обсяг курсу	120 год, з яких 80 год аудиторних занять, з них 48 год лекцій, 32 год практичних робіт та 40 год самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> • теплові, гідромеханічні та масообмінні процеси, що відбуваються в обладнанні біотехнологічних виробництв; • фізичні основи явищ і процесів тепломасопереносу; • фізичні основи гідродинаміки; • основні стадії технологічних процесів і відповідне обладнання; • організацію біотехнологічних виробництв та специфіку всіх етапів в залежності від характеристики біологічного об'єкта та кінцевого (цільового) продукту; • теплообмінне обладнання, що використовується в лініях біотехнологічних виробництв; • обладнання для транспорту теплоносіїв і матеріальних потоків, що використовується в лініях біотехнологічних виробництв; • передферментаційні процедури та відповідне обладнання; • типові конструкції ферментаційного обладнання для глибинного і поверхневого культивування; • допоміжне обладнання ліній та контрольно-вимірювальні прилади; • типові устаткування і обладнання біотехнологічних виробництв для концентрування та

відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів;

- типове устаткування і обладнання біотехнологічних виробництв для оброблення нативних розчинів та біомас;
- обладнання для сушіння продуктів мікробного синтезу;
- методики технологічних розрахунків типового обладнання біотехнологічних виробництв.

вміти:

- класифікувати типове обладнання біотехнологічних виробництв за призначенням, принципом дії та процесами, що в ньому відбуваються;
- проводити типові технологічні розрахунки обладнання біотехнологічних виробництв та на їх основі проводити підбір оптимальної конструкції та типорозміру апарату;
- визначати теплофізичні властивості теплоносіїв, робочих середовищ та цільових продуктів біотехнологічного виробництва;
- базуючись на знаннях про закономірності механічних, гідромеханічних, тепломасообмінних процесів та основних конструкційних особливостях, вміти обирати відповідне устаткування у процесі проектування біотехнологічних виробництв для забезпечення їх максимальної ефективності.

Курс розроблено таким чином, щоб сформувати у студентів загальні і фахові компетентності:

ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК02. Здатність до письмової та усної комунікації українською мовою (професійного спрямування).

ЗК05. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ФК1. Здатність використовувати знання з математики та фізики в обсязі, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

ФК2. Здатність використовувати ґрунтовні знання з хімії та біології в обсязі, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

ФК3. Здатність здійснювати аналіз нормативної документації, необхідної для забезпечення інженерної діяльності в галузі біотехнології.

ФК8. Здатність використовувати 10 методологій проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

ФК9. Здатність обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для реалізації та контролю виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

ФК10. Здатність складати технологічні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

ФК11. Здатність складати апаратурні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

ФК14. Здатність використовувати сучасні автоматизовані системи управління виробництвом біотехнологічних продуктів різного призначення, їх технічне, алгоритмічне, інформаційне і програмне забезпечення для вирішення професійних завдань.

ПР01. Вміти застосовувати сучасні математичні методи для розв'язання практичних задач, пов'язаних з дослідженням і проектуванням біотехнологічних процесів. Використовувати знання фізики для аналізу біотехнологічних процесів.

ПР05. Вміти аналізувати нормативні документи (державні та галузеві стандарти, технічні умови, настанови тощо), складати окремі розділи технологічної та аналітичної документації на біотехнологічні продукти різного призначення; аналізувати технологічні ситуації, обирати раціональні технологічні рішення.

ПР15. Базуючись на знаннях про закономірності механічних, гідромеханічних, тепло- та масообмінних процесів та основні конструкторські особливості, вміти обирати відповідне устаткування у процесі проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення для забезпечення їх максимальної ефективності.

ПР17. Вміти складати матеріальний баланс на один цикл виробничого процесу, специфікацію обладнання та карту постадійного контролю з наведенням контрольних точок виробництва.

ПР18. Вміти здійснювати обґрунтування та вибір відповідного технологічного обладнання і графічно зображувати технологічний процес відповідно до вимог нормативних документів з використанням знань, одержаних під час практичної підготовки.

Ключові слова	Теплообмінні процеси, гідромеханічні процеси, масообмінні процеси, біореактори, ферментери, теплообмінники, сепаратори, центрифуги, фільтри, мембранні апарати, сушарки, екстрактори, сорбційні апарати.
Формат дисципліни	Очний/дистанційний.
	Проведення лекцій, практичних робіт та консультації для кращого розуміння тем.
Теми	Наведено у табл. 1.
Підсумковий контроль, форма	Іспит у кінці семестру.
Пререквізити	Дисципліна «Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв» допомагає інтегрувати знання, отримані при вивченні дисциплін циклу професійної та практичної підготовки («Основи вищої математики», «Фізика», «Математичні методи в біотехнології», «Біоінформатика», «Біохімія», «Загальна біотехнологія», тощо) і використовувати їх у майбутній професійній діяльності. Вказана дисципліна є одною з визначальних у підготовці майбутнього кваліфікованого біотехнолога: знання, одержані при вивченні цієї дисципліни, необхідні для виконання курсових і дипломних проектів.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Під час лекцій та практичних занять: презентації, пояснення методології розрахунків устаткування біотехнологічних виробництв, обговорення та дискусія.
Необхідне обладнання	Персональний комп'ютер, комп'ютерні програми і операційні системи.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> • практичні роботи: максимальна кількість – 35 балів; • модульна контрольна робота (МКР) №1: максимальна кількість – 5 балів; • модульна контрольна робота (МКР) №2: максимальна кількість – 5 балів; • альбом конструкцій – 5 балів. • іспит, максимальна кількість – 50 балів.

Бали за 10 практичних робіт: виконання роботи – 2,5 бали, захист роботи – 1 бал.

Бали за МКР: 2 модулі по 5 балів кожний (МКР №1 - Процеси і апарати біотехнологічних виробництв, МКР №2 - Устаткування виробництв галузі).

Бали за альбом конструкцій: виконання роботи – 3 бали, захист роботи – 2 бали.

Остаточний перелік питань, який буде винесено на іспит, вимоги до виконання альбому конструкцій та теми, що будуть винесені на МКР буде надано і роз'яснено студентам впродовж семестру.

Допуск до іспиту:

До екзамену допускаються студенти, які виконали всі види робіт (10 практичних робіт, МКР №1, МКР №2 та альбом конструкцій). У випадку, якщо певний вид робіт (практична робота, альбом конструкцій, модульна контрольна робота (МКР)) не виконано чи виконується і надсилається викладачу на перевірку пізніше ніж за 5 днів до встановленої дати іспиту або дедлайну (дедлайн буде встановлений викладачем і повідомлений здобувачам), то студент є недопущеним і автоматично відправляється на додаткову сесію, як той що не виконав обсяг робіт необхідний для допуску до іспиту, передбачений цим силабусом. Стартовий рейтинг для допуску до екзамену має бути не менше 30 балів. У випадку не допуску студент має до початку ліквідації академічної заборгованості (перескладання) виправити ситуацію із наявними заборгованостями (виконати всі види робіт) та набрати мінімальний стартовий рейтинг 30 балів.

Максимальна сума балів стартової складової дорівнює 50.

На іспиті студенти виконують письмову контрольну роботу. Контрольна робота складається з чотирьох теоретичних питань різних розділів робочої програми з переліку, що наданий у методичних рекомендаціях до засвоєння дисципліни (3 питання по 12 балів кожне і одне питання по конструкціям апаратів – 14 балів). Після написання екзаменаційної контрольної роботи, студент усно чи з використанням засобів відео зв'язку, в режимі реального часу, проходить співбесіду із викладачем по відповідям на завдання контрольної роботи.

	<p><i>Правила відвідування занять та поведінки на заняттях:</i> Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання, студенти зобов'язані брати активну участь в навчальному процесі, не спізнюватися на заняття та не пропускати їх без поважної причини, не заважати викладачу проводити заняття, не відволікатися на дії, що не пов'язані з навчальним процесом.</p> <p><i>Правила призначення заохочувальних та штрафних балів:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • заохочувальні та штрафні бали в рамках навчальної дисципліни не передбачені. <p><i>Політика дедлайнів та перескладань:</i> У разі виникнення заборгованостей з навчальної дисципліни або будь-яких форс-мажорних обставин, студенти мають зв'язатися з викладачем по доступних (наданих викладачем) каналах зв'язку для розв'язання проблемних питань та узгодження алгоритму дій для відпрацювання.</p> <p><i>Політика академічної доброчесності:</i> Плагіат та інші форми не доброчесної роботи неприпустимі. До плагіату відноситься відсутність посилань при використанні друкованих та електронних матеріалів, цитат, думок інших авторів. Неприпустимі підказки та списування під час написання тестів, проведення занять; здача за іншого студента; копіювання матеріалів, захищених системою авторського права, без дозволу автора роботи. У випадку виявлення випадків академічної не доброчесності та плагіату в індивідуальних видах робіт студент зобов'язаний переробити даний вид робіт відповідно до власного варіанту завдання до моменту ліквідації академічної заборгованості (додаткова сесія).</p> <p><i>Література.</i> Базова література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем винятково в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p>
<p>Питання до іспиту</p>	<p>Орієнтовний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Гідростатика. Основні поняття та визначення. 2) Фізичні властивості рідини. 3) Розподіл тиску по об'єму рідини. Закон Паскаля.

- 4) Диференційні рівняння рівноваги Ейлера. Основне рівняння гідростатики. Практичне застосування основного рівняння гідростатики.
- 5) Гідродинаміка. Основні поняття та визначення. Характеристики руху рідин.
- 6) Рівняння нерозривності потоку.
- 7) Диференційні рівняння руху Ейлера та Нав'є-Стокса.
- 8) Рівняння Бернуллі. Практичне застосування рівняння Бернуллі.
- 9) Визначення витрат рідини і середньої швидкості в круглій трубі. Формула Пуазейля. Гідродинамічна подібність.
- 10) Гідрравлічний опір в трубопроводах.
- 11) Рух тіл в рідинах. Турбулентний рух. Структура потоку. Товщина в'язкого підшару.
- 12) Втрати напору по довжині. Гідрравлічна шорсткість труб. Особливості гідрравлічного розрахунку трубопроводів для транспортування рідин.
- 13) Гідрравлічний удар в трубах. Рух рідини через зернисті та пористі шари. Гідродинаміка киплячих зернистих шарів.
- 14) Гідрравлічні машини та їх класифікація.
- 15) Схема насосної установки. Насоси. Основні параметри насосів.
- 16) Будова і принцип дії відцентрових та поршневих насосів. Визначення робочих точок. Регулювання подачі рідини відцентровим насосом.
- 17) Поршневі ротаційні, водо кільцеві насоси, принцип їх дії, розрахунок продуктивності, ККД.
- 18) Типи вентиляторів, газодувок, компресорів. Загальні відомості.
- 19) Теплові баланси.
- 20) Критерії теплової і гідродинамічної подібності.
- 21) Критеріальні рівняння для визначення коефіцієнтів тепловіддачі.
- 22) Передача тепла теплопровідністю, тепловим випромінюванням. Конвективний теплообмін. Теплопередача.
- 23) Нагрівання. Способи нагрівання, гріючі агенти. Охолоджувальні агенти.
- 24) Конструкції теплообмінників. Одно ходові, багатиходові кожухотрубні, трубчасті, типу «труба в трубі», змійовикові, зрошувальні та пластинчасті теплообмінники.

- 25) Особливості конструкції та розрахунок теплообмінних апаратів.
- 26) Однокорпусні випарні установки.
- 27) Матеріальні та теплові баланси.
- 28) Плівкові та роторні випарні установки.
- 29) Розрахунок випарних установок.
- 30) Розрахунок теплообмінних апаратів.
- 31) Механічне перемішування. Оцінка ефективності, поточне і пневматичне перемішування.
- 32) Будова і розрахунок мішалок.
- 33) Витрати енергії на перемішування.
- 34) Класифікація неоднорідних систем і способи їх розділення.
- 35) Осадження. Загальна характеристика. Загальне рівняння швидкості осідання. (Рівняння Архімеда, Ляшенка, Стокса)
- 36) Закономірності осадження у відцентровому полі. Фактор розділення.
- 37) Періодичні та безперервні відстійники, їх розрахунок.
- 38) Принцип роботи відстійних і фільтрувальних центрифуг.
- 39) Фільтрування. Класифікація способів фільтрування. Основні рівняння фільтрування.
- 40) Конструкції фільтрів. Конструкції та розрахунок фільтрів.
- 41) Розрахунок продуктивності за сталої швидкості фільтрування і за сталому перепаді тисків.
- 42) Центрифугування. Відцентрове фільтрування.
- 43) Відцентрова сила і фактор розділення.
- 44) Будова надцентрифуг та рідинних сепараторів.
- 45) Розрахунок центрифуг.
- 46) Основні закони дифузії (молекулярна, конвективна).
- 47) Способи інтенсифікації. Масовіддача і масопередача.
- 48) Рівновага при масопередачі.
- 49) Швидкість масопередачі.
- 50) Рушійна сила.
- 51) Масопередача з твердою фазою.
- 52) Сорбція, абсорбція. Загальні відомості. Конструктори абсорберів.
- 53) Адсорбція, іонообмінні процеси. Загальні відомості.
- 54) Перегонка та ректифікація. Види перегонки. Проста перегонка. Дефлегмація. Флегмове число. Матеріальний баланс простої перегонки. Ректифікаційні апарати. Азеотропна ректифікація.

- 55) Екстракція в системі «тверде тіло-рідина».
- 56) Конструкції та розрахунок екстракційних апаратів.
- 57) Основні параметри вологого повітря.
- 58) I-X діаграма вологого повітря.
- 59) Рівновага при сушінні. Матеріальний і тепловий баланс сушіння.
- 60) Визначення параметрів повітря і тепла на сушіння. Варіанти процесів сушіння. Швидкість сушіння.
- 61) Кінетика сушіння.
- 62) Форми зв'язку вологи з матеріалом.
- 63) Криві сушіння та швидкості сушіння. Перший та другий періоди сушіння. Визначення тривалості процесу сушіння.
- 64) Кристалізація та розчинення. Загальні відомості. Способи ведення та інтенсифікація процесу.
- 65) Класифікація біотехнологічних процесів за технологічними ознаками, способи їх реалізації.
- 66) Загальні методи біотехнології та апаратура для процесів біосинтезу.
- 67) Розрахунок теплової потужності, що виникає при синтезі біомаси.
- 68) Тепловий ефект від перемішування культуральної рідини і розрахунок потрібної площі теплообміну.
- 69) Експериментальні методи визначення теплової потужності.
- 70) Розрахунковий метод визначення теплової потужності, що передається культуральній рідині від перемішувального пристрою на основі його розрахунку залежно від потреби в кисні.
- 71) Пневматичне перемішування: Розрахунок енергії, що передається на перемішування з газовою фазою. Масштабування процесів перемішування.
- 72) Типи та розрахунок теплообмінних пристроїв ферментерів. Порядок розрахунку теплообмінного пристрою ферментера.
- 73) Типи ферментерів за особливістю процесу біосинтезу.
- 74) Класифікація ферментерів за конструкцією, способом введення енергії та перемішування.
- 75) Конструкції ферментерів ємкісного типу з механічними перемішувачами.
- 76) Ферментери з пневматичним перемішуванням.
- 77) Типова обв'язка ферментера для глибинної ферментації.
- 78) Обладнання для відділення біомаси від нативного розчину.

	<p>79) Оптимізація процесу фільтрування.</p> <p>80) Типові конструкції ємнісних фільтрувальних апаратів циклічної дії. Фільтр-преси з ручним вивантаженням осаду</p> <p>81) Центрифугування, звичайні центрифуги.</p> <p>82) Сепарація: трубчасті сепаратори, тарілчасті сепаратори. Флотування.</p> <p>83) Технологічний розрахунок трубчастого вакуум-випарного апарата з висхідною плівкою.</p> <p>84) Випарні апарати для концентрування цільових продуктів мікробіологічного синтезу.</p> <p>85) Мембранні процеси концентрування і розділення.</p> <p>86) Поняття про селективність і проникливість мембран.</p> <p>87) Існуючі і перспективні конструкції апаратів для баромембранних процесів очищення і концентрування продуктів мікробіологічного синтезу.</p> <p>88) Поняття про рідинну хроматографію.</p> <p>89) Іонообмінні смоли та апаратура для іонного статичного і динамічного іонообміну.</p> <p>90) Апаратура для рідинної екстракції.</p> <p>91) Обладнання для дезінтеграції мікробних мас та подальша обробка дезінтегрованої біомаси.</p> <p>92) Твердофазова екстракція: апаратура (ємнісні екстрактори з перемішувальним пристроєм, перколятори тощо).</p> <p>93) Технологічні розрахунки апаратів для твердофазової екстракції.</p> <p>94) Сушіння продуктів мікробіологічного синтезу</p> <p>95) Конструкції та розрахунок сушарок (сублімаційні, пневматичні, розпилювальні.)</p> <p>96) Сублімаційне сушіння.</p> <p>97) Технологічні розрахунки основних типів сушарок, що застосовуються у біотехнологічних виробництвах.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу “ Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв ”

№	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Літератур. ресурси в інтернеті	Год	Термін виконання
1.	Зміст і завдання дисципліни. Класифікація основних технологічних процесів. Основні закони, яким підпорядковані технологічні процеси. Загальні принципи аналізу та розрахунку процесів і апаратів. Основи теплообміну. Методи поширення тепла в просторі. Теплові баланси. Передача тепла теплопровідністю, тепловим випромінюванням. Основні поняття теплообміну. Способи перенесення теплоти. Температурне поле. Температурний градієнт. Закон Фур'є. Диференціальне рівняння теплопровідності. Умови однозначності. Теплопровідність крізь плоску і циліндричну стінки при граничних умовах I-го.	Лекція №1	1-11	2	1 тиждень
2	Конвективний теплообмін в умовах вимушеної та вільної конвекції. Критерії теплової подібності. Основні поняття і визначення. Рівняння Ньютона-Ріхмана. Безрозмірний опис фізичних явищ. Подібні явища. Окремі задачі конвективного теплообміну. Теплообмін при вільній конвекції в необмеженому і обмеженому просторі. Тепловіддача при вимушеній течії в трубах.	Лекція №2	1-11	2	1 тиждень
3	Теплопровідність одношарової та багатошарової стінки. Розрахунок коефіцієнта конвективної тепловіддачі при русі теплоносія в каналах різної геометрії.	Практична робота №1	1-11	2	1 тиждень
4	Критичний діаметр теплової ізоляції. Умови однозначності для стаціонарних і нестаціонарних режимів теплопровідності. Окремі задачі стаціонарної теплопровідності.	Самостійна робота	1-11	2	1 тиждень

5	Умови, теореми подібності. Тепловіддача при поперечному обтіканні одиночної круглої труби. Тепловіддача при поперечному обтіканні пучка труб шахового і коридорного розташування. Теплопередача через плоску і циліндричну стінки при граничних умовах III-го роду, коефіцієнт теплопередачі. Методика розрахунку задач конвективного теплообміну.	Лекція №3	1-11	2	2 тиждень
6	Теплопровідність одношарової та багатошарової стінки. Розрахунок коефіцієнта конвективної тепловіддачі при русі теплоносія в каналах різної геометрії. (ПР№1. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №2	1-11	2	2 тиждень
7	Критерії і числа теплової і гідродинамічної подібності	Самостійна робота	1-11	2	2 тиждень
8	Тепловіддача при русі теплоносія в каналі утвореному гофрованими пластинами. Тепловий баланс. Температурний напір. Схеми руху теплоносіїв. Класифікація теплообмінних апаратів. Основні конструкції трубчастих та пластинчастих теплообмінників.	Лекція №4	1-11	2	3 тиждень
9	Фазові переходи. Потрійна точка води. Конвективний теплообмін при зміні агрегатного стану. Теплообмін при кипінні та конденсації. Рівняння для обчислення тепловіддачі при кипінні рідини та конденсації пари.	Лекція №5	1-11	2	3 тиждень
10	Теплопередача в умовах вимушеної і вільної конвекції. Розрахунок секції теплообмінника типу «труба в трубі» (ПР№2. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №3	1-11	2	3 тиждень
11	Тепловіддача при русі теплоносія в каналах складної геометрії.	Самостійна робота	1-11	2	3 тиждень
12	Випарювання. Однокорпусні та багатокорпусні випарні установки. Матеріальні та теплові баланси. Плівкові та роторні випарні установки. Розрахунок випарних установок.	Лекція №6	1-11	2	4 тиждень

13	Теплопередача при поперечному обтіканні пучка труб. Розрахунок кожухотрубного теплообмінника. Теплопередача при омиванні теплоносієм гофрованої пластини. Розрахунок пластинчастого теплообмінника.	Практична робота №4	1-11	2	4 тиждень
14	Конструкції плівкових випарних апаратів.	Самостійна робота	1-11	2	4 тиждень
15	Гідростатика. Основні поняття та визначення. Фізичні властивості рідини. Розподіл тиску по об'єму рідини. Закон Паскаля. Диференційні рівняння рівноваги Ейлера. Основне рівняння гідростатики. Гідродинаміка. Основні поняття та визначення. Характеристики руху рідин. Рівняння нерозривності потоку. Диференційні рівняння руху Ейлера та Нав'є-Стокса. Рівняння Бернуллі.	Лекція №7	1-11	2	5 тиждень
16	Гідродинамічна подібність. Теореми подібності. Рух тіл в рідинах. Ламінарний і Турбулентний рух. Структура потоку. Товщина в'язкого підшару. Втрати напору по довжині. Гідралічна шорсткість труб.	Лекція №8	1-11	2	5 тиждень
17	Теплопередача при зміні агрегатного стану. Розрахунок вакуум-випарного апарату з природною циркуляцією. <i>(ПР№3. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)</i>	Практична робота №5	1-11	2	5 тиждень
18	Практичне застосування рівняння Бернуллі. Визначення витрат рідини і середньої швидкості в круглій трубі. Формула Пуазейля.	Самостійна робота	1-11	2	5 тиждень
19	Методика розрахунку гідравлічного опору. Гідравлічний розрахунок апаратів. Транспорт рідин і газів. Класифікація насосів і компресорів. Основні конструкції насосів і компресорів.	Лекція №9	1-11	2	6 тиждень
20	Розрахунок гідравлічного опору апарату.	Практична робота №6	1-11	2	6 тиждень
21	Транспорт газів. Конструкції вентиляторів і компресорів. Рух рідини через зернисті та пористі шари. Гідродинаміка киплячих	Самостійна робота	1-11	2	6 тиждень

	зернистих шарів. Гідравлічні явищі. Кавітація.				
22	Масообмінні процеси. Основні закони дифузії (молекулярна, конвективна). Закон Фіка. Закон Грема. Закон Генрі-Дальтона. Способи інтенсифікації масообміну.	Лекція №10	1-11	2	7 тиждень
23	Масовіддача і масопередача в системі газ-рідина та рідина-рідина. Рівновага при масопередачі. Швидкість масопередачі. Рушійна сила процесів масопереносу. Методика розрахунку коефіцієнтів конвективної масовіддачі. Вплив питомої поверхні контакту фаз (газ-рідина, рідина-клітина) на швидкість сорбції кисню.	Лекція №11	1-11	2	7 тиждень
24	Розрахунок гідравлічного опору апарату. (ПР№4. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №7	1-11	2	7 тиждень
25	Об'ємний коефіцієнт масопередачі за киснем під час культивування мікроорганізмів, експериментальні методи його визначення (динамічний, інтегральний, балансний, дегазування, сульфідний).	Самостійна робота	1-11	2	7 тиждень
26	Класифікація неоднорідних систем і способи їх розділення. Осадження. Загальна характеристика. Загальне рівняння швидкості осідання. (Рівняння Архімеда, Ляшенка, Стокса). Способи розділення неоднорідних систем.	Лекція №12	1-11	2	8 тиждень
27	Осадження в полі гравітаційних і відцентрових сил. (ПР№5. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №8	1-11	2	8 тиждень
28	Обмеження застосування законів Стокса і Ляшенка.	Самостійна робота	1-11	2	8 тиждень
29	Осадження в полі гравітаційних та відцентрових сил. Обладнання для відстоювання. Періодичні та безперервні відстійники, їх розрахунок. Принцип роботи відстійних і фільтрувальних центрифуг. Центрифугування. Сепарація. Закономірності осаджування у відцентровому полі.	Лекція №13	1-11	2	9 тиждень

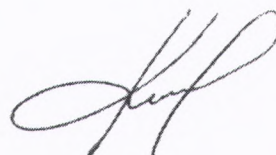
	Фактор розділення. Методика розрахунку центрифуг і сепараторів.				
30	Фільтрування. Класифікація способів фільтрування. Основні рівняння фільтрування. Розрахунок продуктивності за сталої швидкості фільтрування і за сталому перепаді тисків. Методика розрахунку фільтрів.	Лекція №14	1-11	2	9 тиждень
31	Розрахунок барабанного вакуум фільтра. (ПР№6. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №9	1-11	2	9 тиждень
32	Обладнання для очищення газів. Конструкції центрифуг та фільтрів.	Самостійна робота	1-11	2	9 тиждень
33	Мембранні процеси концентрування і розділення: мікрофільтрування, ультрафільтрування, нанофільтрування, зворотний осмос. Поняття про селективність і проникливість мембран. Теорія рівноваги Доннана. Класифікація мембран. Існуючі і перспективні конструкції апаратів для баромембранних процесів очищення і концентрування продуктів мікробіологічного синтезу.	Лекція №15	1-11	2	10 тиждень
34	Розрахунок тарільчастого сепаратора. (ПР№7. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №10	1-11	2	10 тиждень
35	Декантерна центрифуга.	Самостійна робота	1-11	2	10 тиждень
36	Перед ферментаційні процедури. Обладнання для миття, дезінфекції і стерилізації (CIP/SIP). Устаткування для періодичної і безперервної стерилізації. Інженерна реалізація способів стерилізації апаратури та комунікацій. Вибір лінії УНС і технологічні розрахунки лінії. Методи стерилізації повітря під час культивування мікроорганізмів. Механізми зсідання частинок, які забезпечують тонке очищення повітря: інерційний, дифузійний, захоплення, седиментація, електро осадження.	Лекція №16	1-11	2	11 тиждень

37	Гідродинамічні процеси у ферментерах. Механічне перемішування. Оцінка ефективності, гідравлічне і пневматичне перемішування. Будова і розрахунок мішалок. Особливості перемішування газорідних систем. Визначення потужності, що витрачається на перемішування в ферментерах з механічним перемішувачем і барботером. Конструкції барботерів. Розрахунок барботерів.	Лекція №17	1-11	2	11 тиждень
38	Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування в ферментері з механічним перемішувачем. (ПР№8. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №11	1-11	2	11 тиждень
39	Конструкції нагрівальних колонок, трубчатих та об'ємних витримувачів. Розрахунок потреб культури продуцента БАР у розчиненому повітрі.	Самостійна робота	1-11	2	11 тиждень
40	Ферментаційне обладнання. Типи ферментерів за особливістю процесу біосинтезу. Класифікація ферментерів за конструкцією, способом введення енергії та перемішування. Реактори ідеального змішування і витиснення. Конструкції ферментерів ємкісного типу з механічними перемішувачами. Ферментери з пневматичним перемішуванням. Single-use біореактори.	Лекція №18	1-11	2	12 тиждень
41	Тепловий розрахунок ферментера. (ПР№9. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №12	1-11	2	12 тиждень
42	Спеціальні конструкції ферментерів для глибинного культивування продуцентів. Типова обв'язка ферментера для глибинної ферментації.	Самостійна робота	1-11	2	12 тиждень
43	Статика процесів біосинтезу. Розрахунок матеріальних балансів процесів біосинтезу. Розрахунок об'ємів ферментаційної апаратури у періодичних процесах, а також безперервних процесах (одно- і багатоступеневе гомогенне	Лекція №19	1-11	2	13 тиждень

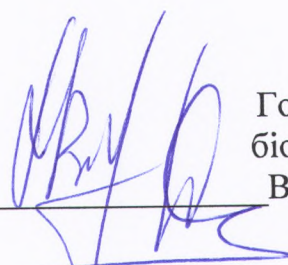
	культивування, від'ємно-доливний спосіб, культивування з рециркуляцією біомаси).				
44	Розрахунок теплового ефекту біосинтезу. Розрахунок теплової потужності, що виникає при синтезі біомаси (визначення тепловиділень, що виникають при синтезі біомаси, у статиці і динаміці). Тепловий ефект від перемішування культуральної рідини і розрахунок потрібної площі теплообміну. Типи та розрахунок теплообмінних пристроїв ферментерів.	Лекція №20	1-11	2	13 тиждень
45	Розрахунок барботажного пристрою ферментера. Розрахунок ейрліфтного ферментера. (ПР №10. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №13	1-11	2	13 тиждень
46	Порядок розрахунку теплообмінного пристрою ферментера.	Самостійна робота	1-11	2	13 тиждень
47	Масопередача з твердою фазою і рідкою фазою. Сорбція, абсорбція, адсорбція, хемосорбція та іонообмінні процеси. Сорбційні апарати і обладнання.	Лекція №21	1-11	2	14 тиждень
48	Розрахунок барботера. Розрахунок ейрліфтного ферментера. (Виконання розрахунку за індивідуальним завданням)	Практична робота №14	1-11	2	14 тиждень
49	Інтегральні стехіометричні рівняння процесів.	Самостійна робота	1-11	5	14 тиждень
50	Перегонка та ректифікація. Види перегонки. Проста перегонка. Дефлегмація. Флегмове число. Матеріальний баланс простої перегонки. Ректифікаційні апарати. Азеотропна ректифікація.	Лекція №22	1-11	2	15 тиждень
51	Сушіння. Основні параметри вологого повітря. I-X діаграма вологого повітря. Рівновага при сушінні. Матеріальний і тепловий баланс сушіння.	Лекція №23	1-11	2	15 тиждень
52	Розрахунок насадкового абсорбера. Розрахунок ректифікаційної колони.	Практична робота №15	1-11	2	15 тиждень
53	Скрубер Вентурі.	Самостійна робота	1-11	2	15 тиждень
54	Кінетика сушіння. Форми зв'язку води з матеріалом. Криві сушіння та швидкості сушіння. Перший та	Лекція №24	1-11	2	16 тиждень

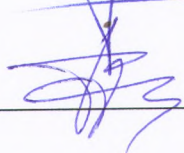
	другий періоди сушіння. Визначення тривалості процесу сушіння. Конвективні сушарки.				
55	Розрахунок сушарки.	Практична робота №16	1-11	2	16 тиждень
56	Підготовка до іспиту.	Самостійна робота	1-11	10	16 тиждень

Автори:
доцент кафедри генетики та біотехнології



Сергій КОСТИК





Погоджено»
Голова методичної ради
біологічного факультету
Віталій ГОНЧАРЕНКО
29.08. 2025 р.

Гарант ОПШ
Віктор ФЕДОРЕНКО
29.08 2025 р.