



## ПРОЦЕСИ, АПАРАТИ ТА УСТАТКУВАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ-2. УСТАТКУВАННЯ ВИРОБНИЦТВ ГАЛУЗІ.

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

|                                             |                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Перший (бакалаврський)</i>                                                                                                    |
| Галузь знань                                | <i>16 - Хімічна та біоінженерія</i>                                                                                              |
| Спеціальність                               | <i>162 – Біотехнології та біоінженерія</i>                                                                                       |
| Освітня програма                            | <i>Біотехнології</i>                                                                                                             |
| Статус дисципліни                           | <i>Нормативна</i>                                                                                                                |
| Форма навчання                              | <i>Очна (денна)</i>                                                                                                              |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>3 курс, весняний семестр</i>                                                                                                  |
| Обсяг дисципліни                            | <i>6 кредити (180 годин)</i>                                                                                                     |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | <i>Екзамен / модульна контрольна робота)</i>                                                                                     |
| Розклад занять                              | <i>5 годин на тиждень (2 години лекційних та 2 години практичних занять, 1 година лабораторних занять)</i>                       |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>                                                                                                                |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | <i>к.т.н., доц. каф. БТ та І, Ружинська Людмила Іванівна , 044-204-94-51, <a href="mailto:ruzhli@ukr.net">ruzhli@ukr.net</a></i> |
| Розміщення курсу                            | <i>Кампус, Google classroom</i>                                                                                                  |

#### Програма навчальної дисципліни

##### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

*Сучасний технічний розвиток виробництва вимагає підготовки висококваліфікованих фахівців здатних до самостійної творчої роботи, впровадження у виробництво наукомістких технологій.*

*Висококваліфікований фахівець зі спеціальності Біотехнології та біоінженерія повинен володіти глибокими теоретичними знаннями для розробки рекомендацій щодо шляхів удосконалення технологічних процесів біотехнологічних виробництв, здійснення оптимального вибору конструкцій апаратів, устаткування для реалізації заданих технологічних процесів.*

***Предмет 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 виділення та очищення біологічно активних речовин (БАР) і при отриманні мікробних мас, особливості конструкцій, принципи розрахунку, вибору та експлуатації основного устаткування біотехнологічних виробництв.*

**Метою навчальної дисципліни Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв** є вивчення теоретичних закономірностей гідродинамічних, теплових, масо обмінних 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.

Відповідно до мети підготовка бакалаврів за даною спеціальністю вимагає посилення сформованих у студентів компетентностей:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями
- Здатність здійснювати аналіз нормативної документації, необхідної для забезпечення інженерної діяльності в галузі біотехнології
- Здатність використовувати методології проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення
- Здатність обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для реалізації та контролю виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення
- Здатність складати технологічні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення
- Здатність складати апаратурні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення
- Здатність аналізувати та проектувати виробництва біотехнологічної продукції харчового, фармацевтичного, парафармацевтичного та природоохоронного характеру на основі процесів мікробного синтезу

Згідно з вимогами освітньої програми студенти після її засвоєння мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

- Вміти застосовувати положення нормативних документів, що регламентують порядок проведення сертифікації продукції, атестації виробництва, вимоги до організації систем управління якістю на підприємствах, правила оформлення технічної документації та ведення технологічного процесу, базуючись на знаннях, одержаних під час практичної підготовки
- Базуючись на знаннях про закономірності механічних, гідромеханічних, тепло- та масо обмінних процесів та основні конструкторські особливості, вміти обирати відповідне устаткування у процесі проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення для забезпечення їх максимальної ефективності
- Базуючись на знаннях, одержаних під час практики на підприємствах та установах, вміти здійснювати продуктовий розрахунок і розрахунок технологічного обладнання
- Вміти складати матеріальний баланс на один цикл виробничого процесу, специфікацію обладнання та карту постадійного контролю з наведенням контрольних точок виробництва
- 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
- Вміти аналізувати та проектувати спеціальні біотехнологічні виробництва із виготовлення продукції різного функціонального та галузевого призначення

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Дисципліна **Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв** допомагає інтегрувати знання, отримані при вивченні фахових дисциплін ("Біохімія", "Загальна мікробіологія і вірусологія", "Біологія клітини", "Загальна біотехнологія"), а також дисциплін циклу природничо-наукової підготовки ("Математика", "Фізика", "Фізична хімія" тощо) і використовувати їх у майбутній професійній діяльності. Вказана дисципліна є одною з визначальних у підготовці майбутнього біотехнолога: знання, одержані при вивченні цієї дисципліни, необхідні для виконання курсових і дипломних проектів.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв-1. Процеси і апарати біотехнологічних виробництв**

#### **Розділ 1. Основи гідравліки. Переміщення рідин та газів. Гідравлічні машини**

Тема 1. Гідростатика.

Тема 2. Гідродинаміка.

Тема 3. Гідравлічні машини

#### **Розділ 2. Механічні та гідромеханічні процеси.**

Тема 1. Механічні процеси

Тема 2. Перемішування

Тема 3. Осадження

Тема 4. Фільтрування.

Тема 5. Центрифуги.

Тема 6. Очищення газів

#### **Розділ 3. Теплові процеси**

Тема 1. Теплопередача

Тема 2. Теплообмінники

Тема 3. Випарювання

#### **Розділ 4. Масо обмінні процеси**

Тема 1. Теорія масообмінних процесів

Тема 2. Адсорбція, іонообмінні процеси

Тема 3. Перегонка та ректифікація

Тема 4. Екстракція

Тема 5. Сушіння.

Тема 6. Кристалізація та розчинення

### **Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв-2. Устаткування виробництв галузі**

#### **Розділ 1. Перед ферментаційні процедури**

Тема 1. Підготовка та стерилізація рідких живильних середовищ

Тема 2. Методи та обладнання для стерилізації повітря

#### **Розділ 2. Основи вибору та розрахунку ферментаційної апаратури**

Тема 1. Конструкційні схеми ферментаційної апаратури

Тема 2. Статика процесів біосинтезу

Тема 3. Розрахунок процесів гідродинаміки в ферментаційному обладнанні

Тема 4. Розрахунок процесів тепло та масо переносу в ферментаційному обладнанні

#### **Розділ 3. Устаткування для концентрування та відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів**

Тема 1. Обладнання для відстоювання

Тема 2. Обладнання для фільтрування

Тема 3. Обладнання для центрифугування

Тема 4. Обладнання для мембранних процесів та рідинної хроматографії

#### **Розділ 4. Оброблення нативних розчинів та біомас**

Тема 1. Обладнання для екстракції

#### **Розділ 5. Сушіння продуктів мікробіологічного синтезу**

Тема 1. Обладнання для сушіння продуктів біосинтезу

#### **Базова література**

1. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування / 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 . Ч.І. Ферментація: Навч. посібник / Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 240 с.

3. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв / Ч.ІІ. Оброблення культуральних рідин: Навч. посібник/ Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 296 с.

4. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості: підручник / М.В. Стасевич, А.О. Милянчик, Л.С. Стрельников та ін.– Львів: «Новий Світ-2000», 2017. – 410 с.

5. Карлаш, Ю. В. Основи проектування біотехнологічних виробництв [Електронний ресурс] : навч. посібник / Ю. В. Карлаш, В. О. Красінько ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2022. – 373 с.

#### **Додаткова**

1. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології: підручник/ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонюк та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011.-Ч.1-416с.

2. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології: підручник/ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонюк та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011.-Ч.2-416 с.

3. Карлаш Ю.В. Основи проектування біотехнологічних виробництв. [Електронний ресурс]: конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» освітньо-професійної програми «Біотехнологія» денної та заочної форм навчання /Ю.В. Карлаш, Є.О. Омельчук - К: НУХТ, 2019. – 252 с. <http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/69.135.pdf>

4. Українець А.І. Проектування типового і спеціального устаткування мікробіологічної, фармацевтичної та харчової промисловості: Навч. посібник /А.І. Українець, О.Т. Богорош, В.М. Поводзинський; За заг. ред. проф. О.Т. Богороша- К.: НУХТ, 2007.-148 с.

5. Реактори біотехнологічних виробництв. Практикум [Електронний ресурс] :навч. посіб. для студ. які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», освітньою програмою «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. М. Мельник, Л. Ю. Авдєєва. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,46 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 60 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41321> - Назва з екрана.

## Інформаційні ресурси

1. 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, 2021. – 76 с. (3,8 ав.арк) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41330>
2. 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>  
Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 10 від 18.06.2020 р.)

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з дисципліни **Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв-2. Устаткування виробництв галузі**, рівень яких визначається цільовою установкою до кожної конкретної теми;
- забезпечення в процесі лекції творчої роботи студентів спільно з викладачем;
- виховання у студентів професійно-ділових якостей і розвиток у них самостійного творчого мислення;
- формування у студентів необхідного інтересу та надання напрямку для самостійної роботи;
- відображення методичної обробки матеріалу (виділення головних положень, висновків, рекомендацій, чітко і адекватне їх формулювання);
- використання для демонстрації наочних матеріалів, поєднання, по можливості їх з демонстрацією результатів і зразків;
- викладання матеріалів лекцій чіткою і якісною мовою з дотриманням структурно-логічних зв'язків, роз'яснення всіх нововведених термінів і понять;
- доступність для сприйняття даною аудиторією.

#### 4. Лекційні заняття

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                                                                                                       | Годин |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1     | Класифікація біотехнологічних процесів за технологічними ознаками, способи їх реалізації. Загальні методи біотехнології та апаратура для процесів біосинтезу. Література [1-3,4]                                             | 2     |
| 2     | Стерилізаційні процедури. Устаткування для періодичної і безперервної стерилізації. Інженерна реалізація способів стерилізації апаратури та комунікацій. Вибір лінії УНС і технологічні розрахунки лінії. Література [1-3,4] | 2     |



|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|   | <i>СРС. Конструкції нагрівальних колонок, трубчатих та об'ємних витримувачів. . [1-3,4]</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |
| 3 | <i>Методи стерилізації повітря під час культивування мікроорганізмів. Розрахунок потреб культури продуцента БАР у розчиненому повітрі. Механізми зсідання частинок, які забезпечують тонке очищення повітря: інерційний, дифузійний, захоплення, седиментація, електро осадження. Розрахунок коефіцієнтів осадження для різних механізмів осадження. Література [1-3,4]</i>                                                                                                                                                  | 2 |
| 4 | <i>Типи фільтрувальних матеріалів для стерилізації повітря, їх вибір. Розрахунок висоти набивного фільтра для стерилізації повітря залежно від обраного критерію стерилізації, фільтрувального матеріалу і швидкості руху повітря у фільтрі. Апаратура для стерилізації аераційного повітря. Література [1-3,4] СРС. Конструкції фільтрів для попереднього очищення повітря. Головних та індивідуальних фільтрів. Література [1-3,4]</i>                                                                                     | 2 |
| 5 | <i>Ферментаційне обладнання. Типи ферментерів за особливістю процесу біосинтезу. Класифікація ферментерів за конструкцією, способом введення енергії та перемішування. Реактори ідеального змішування і витиснення. Література [1-3,4]<br/>СРС. Конструкції ферментерів ємкісного типу з електроперемішувальними пристроями. Ферментери з пневматичним перемішуванням. Інші конструкції ферментерів для глибинного культивування продуцентів. Типова обв'язка ферментера для глибинної ферментації. . Література [1-3,4]</i> | 2 |
| 6 | <i>Статика процесів біосинтезу. Розрахунок матеріальних балансів процесів біосинтезу. Інтегральні стехіометричні рівняння процесів . Розрахунок об'ємів ферментаційної апаратури у періодичних процесах, а також безперервних процесах (одно- і багатоступеневе гомогенне культивування, від'ємно-доливний спосіб, культивування з рециркуляцією біомаси). Література [1-3,4]</i>                                                                                                                                            | 2 |
| 7 | <i>Гідродинамічні процеси у ферментерах. Особливості перемішування газорідних систем. Визначення потужності, що витрачається на перемішування в ферментерах з механічним перемішуючим пристроєм і барботером. Конструкції барботерів. Розрахунок барботерів. Література [1-3,4]</i>                                                                                                                                                                                                                                          | 2 |
| 8 | <i>Розрахунок теплового ефекту біосинтезу. Розрахунок теплової потужності, що виникає при синтезі біомаси (визначення тепловиділень, що виникають при синтезі біомаси, у статистиці і динаміці). Тепловий ефект від перемішування культуральної рідини і розрахунок потрібної площі теплообміну. Типи та розрахунок теплообмінних пристроїв ферментерів. Порядок розрахунку теплообмінного пристрою ферментера. . Література [1-3,4]</i>                                                                                     | 2 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 9  | Об'ємний коефіцієнт масо передачі за киснем під час культивування мікроорганізмів, експериментальні методи його визначення (динамічний, інтегральний, балансовий, дегазування, сульфідний). Час гомогенізації. Мікро- і макро перенесення. Вплив питомої поверхні контакту фаз (газ-рідина, рідина-клітина) на швидкість сорбції кисню. Особливості масо перенесення під час барботажної аерації і пневмомеханічного перемішування. . Література [1-3,4] | 2 |
| 10 | Обладнання для відділення біомаси від нативного розчину. Класифікація та обґрунтування вибору обладнання для відділення біомаси від нативного розчину. Відстоювання. СРС. Конструкції відстійників. Література [1-3,4]                                                                                                                                                                                                                                   | 2 |
| 11 | Звичайне фільтрування. Оптимізація процесу фільтрування. Класифікація фільтрів. Обґрунтування вибору фільтрів. Література [1-3,4]<br>СРС. Типові конструкції ємнісних фільтрувальних апаратів циклічної дії. Фільтр-преси з ручним вивантаженням осаду. Автоматичні фільтр-преси ФПАКМ. Барабанні вакуум-фільтри. Стрічкові вакуум-фільтри. Інші конструкції фільтрів. Література [1-3,4]                                                                | 2 |
| 12 | Центрифугування, звичайні центрифуги. Класифікація та обґрунтування вибору та розрахунок центрифуг. Література [1-3,4]<br>СРС. Сепарація: 2трубчасті сепаратори, тарілчасті сепаратори. Література [1-3,4]                                                                                                                                                                                                                                               | 2 |
| 13 | 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. . Література [1-3,4]                                                                  | 2 |
| 14 | Поняття про рідинну хроматографію. Іонообмінні смоли та апаратура для іонного статичного і динамічного іонообміну. . Література [1-3,4]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2 |
| 15 | Апаратура для рідинної екстракції, Класифікація, основи вибору та розрахунку. Література [1-3,4]<br>СРС. Конструкції екстракторів з перемішуванням, системи "інжектор-розділовий сепаратор", екстракційні машини типу "Росія" і "Лувеста", диференційно-контактного екстрактори Подбільняка. Література [1-3,4]                                                                                                                                          | 2 |
| 16 | Обладнання для дезінтеграції мікробних мас та подальша обробка дезінтегрованої біомаси. Твердо фазова екстракція: апаратура (ємнісні екстрактори з перемішувальним пристроєм, перколятори тощо) та технологічні розрахунки. Література [1-3,4]<br>СРС. Конструкції екстракторів з перемішувальним пристроєм, перколяторів, тощо Література [1-3,4]                                                                                                       | 2 |
| 17 | Особливості сушіння біомаси та продуктів біосинтезу. Класифікація, вибір конструкції сушарок. Література [1-3,4]<br>СРС Конструкції сушарок (сублімаційні, пневматичні, розпилювальні та інші типи сушарок) Література [1-3,4]                                                                                                                                                                                                                           | 2 |

|    |                                                                                                                       |    |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 18 | Технологічні розрахунки основних типів сушарок, що застосовуються у біотехнологічних виробництвах. Література [1-3,4] | 2  |
|    | Всього годин                                                                                                          | 36 |

### Практичні заняття

У системі професійної підготовки студентів по дисципліні **Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв-2. Устаткування виробництв галузі**, практичні заняття займають 25 % аудиторного навантаження. Будучи доповненням до лекційного курсу, вони закладають і формують основи кваліфікації бакалавра по спеціальності Біотехнології та біоінженерія. Зміст цих занять і методика їх проведення повинні забезпечувати розвиток творчої активності особистості. Вони розвивають наукове мислення і здатність користуватися спеціальною термінологією, дозволяють перевірити знання, Тому даний вид роботи виступає важливим засобом оперативного зворотного зв'язку.

Основні завдання циклу практичних занять:

- допомогти студентам систематизувати, закріпити і поглибити знання теоретичного характеру в області **устаткування біотехнологічних виробництв**,
- ознайомити студентів з сучасними методиками розрахунків устаткування для проведення перед ферментаційних, ферментаційних процесів, процесів концентрування, відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів, процесів сушіння
- навчити студентів прийомам вирішення практичних завдань, сприяти оволодінню навичками та вміннями виконання розрахунки за стандартними методиками;
- навчити їх працювати з науковою та довідковою літературою і програмним забезпеченням для виконання розрахунків;
- допомогти студентам набути досвід проведення аналізу конструкцій устаткування для проведення перед ферментаційних, ферментаційних процесів, процесів концентрування, відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів, процесів сушіння
- навчити студентів виконувати матеріальні, теплові конструктивні розрахунків устаткування для проведення перед ферментаційних, ферментаційних процесів, процесів концентрування, відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів, процесів сушіння.
- формувати вміння вчитися самостійно, тобто опановувати методами, способами і прийомами самонавчання, саморозвитку і самоконтролю.

| № з/п | Назва теми заняття та перелік основних питань<br>(перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                        | Годин |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1     | Розрахунок установки неперервної стерилізації живильного середовища. СРС. Розрахунок фільтр-преса за індивідуальним завданням. Література [1-3,4] | 4     |
| 2     | Розрахунок фільтрувальної центрифуги.                                                                                                             | 4     |



|   |                                                                                                                                                                              |    |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|   | СРС. Розрахунок швидкості осадження за індивідуальним завданням..<br>Література [1-3,4]                                                                                      |    |
| 3 | Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування в ферментері з механічним перемішуючим пристроєм.<br>СРС. Розрахунок за індивідуальним завданням. Література [1-3,4] | 4  |
| 4 | Тепловий розрахунок ферментера з механічним перемішуючим пристроєм.<br>СРС. Розрахунок за індивідуальним завданням. Література [1-3,4]                                       | 6  |
| 5 | Розрахунок газу розподільчого пристрою.<br>СРС. Розрахунок за індивідуальним завданням Література [1-3,4]                                                                    | 4  |
| 6 | Розрахунок ерліфтного ферментера.<br>СРС. Розрахунок за індивідуальним завданням. Література [1-3,4]                                                                         | 4  |
| 7 | Розрахунок мембранного апарату для ультрафільтрації. СРС. Розрахунок за індивідуальним завданням. Література [1-3,4]                                                         | 4  |
| 8 | Модульна контрольна робота.                                                                                                                                                  | 2  |
| 9 | Розрахунок ліофільної сушарки.<br>СРС. Розрахунок за індивідуальним завданням. Література [1-3,4]                                                                            | 4  |
|   | Всього годин                                                                                                                                                                 | 36 |

### Лабораторні. заняття

У системі професійної підготовки студентів по дисципліні **Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв-2. Устаткування виробництв галузі**, лабораторні заняття займають 25 % аудиторного навантаження. Будучи доповненням до лекційного курсу, вони закладають і формують основи кваліфікації бакалавра по спеціальності Біотехнології та біоінженерія

Основні завдання циклу лабораторних робіт

- ознайомити студентів з методиками проведення експериментальних досліджень роботи устаткування для проведення перед ферментаційних, ферментаційних процесів, процесів концентрування, відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів, процесів сушіння;
- допомогти студентам набутися досвід проведення експериментальних досліджень роботи устаткування для проведення перед ферментаційних, ферментаційних процесів, процесів концентрування, відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів, процесів сушіння;
- допомогти студентам набутися досвід математичної обробки експериментальних даних, проведення їх аналізу та узагальнення результатів.

| № з/п | Назва теми заняття та перелік основних питань<br>(перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)          | Годин |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1     | Вступне заняття                                                                                                                     | 2     |
| 2     | Дослідження процесу перемішування рідини. СРС Обробка результатів вимірювань. Виконання розрахунків. Побудова графіків. [1-3,4-6,9] | 4     |
| 3     | Дослідження процесу фільтрування. СРС Обробка результатів вимірювань. Виконання розрахунків. Побудова графіків.                     | 4     |
| 4     | Дослідження процесу центрифугування. СРС Обробка результатів вимірювань. Виконання розрахунків. Побудова графіків. [1-3,4-6,9]      | 4     |

|   |                                                                                                                                       |    |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5 | Дослідження процесу мембранного розділення. СРС Обробка результатів вимірювань. Виконання розрахунків. Побудова графіків. [1-3,4-6,9] | 4  |
|   | Всього годин                                                                                                                          | 18 |

## 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота займає 47 % часу вивчення кредитного модуля, включаючи і підготовку до заліку. Головне завдання самостійної роботи студентів – це опанування знань в областях, що не увійшли у перелік лекційних питань шляхом особистого пошуку інформації, формування активного інтересу до творчого підходу у навчальній роботі.

Самостійна робота призначена для поглиблення знань з даного курсу. Особливу увагу потрібно приділити вивченню конструкцій обладнання для проведення процесів підготовки живильного середовища, технологічного повітря, ферментаційних процесів, виділення, очищення, концентрування та сушіння цільового продукту і оформлення журналу конструкцій.

При самостійному вивченні студентами конструкцій устаткування біотехнологічних виробництв, необхідно проаналізувати фактори, що впливають на протікання процесів, рівень впливу на процес конструктивних особливостей устаткування, шляхи вдосконалення конструкцій, резерви для інтенсифікації ефективності процесів. Питання, що винесені на самостійне вивчення, орієнтовані на розвиток інтелектуальних умінь, професійних здатностей, підвищення творчого потенціалу студента і полягає в самостійному пошуку, аналізі та структуруванні, науково технічної інформації

| № з/п                                                                                                                      | Назва теми, що виноситься на самостійне вивчення                                                                                                                                                                                                                          | Кількість аудиторних годин |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Розділ 1. Перед ферментаційні процедури</b>                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |
| 1                                                                                                                          | Конструкції нагрівальних колонок, трубчатих та об'ємних витримувачів. . Література [1-3,4]                                                                                                                                                                                | 2                          |
| 2                                                                                                                          | Конструкції фільтрів для попереднього очищення повітря. Головних та індивідуальних фільтрів. Література [1-3,4]                                                                                                                                                           | 2                          |
| <b>Розділ 2. Основи вибору та розрахунку ферментаційної апаратури</b>                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |
| 3                                                                                                                          | Конструкції ферментерів ємкісного типу з електро перемішувальними пристроями. Ферментери з пневматичним перемішуванням. Інші конструкції ферментерів для глибинного культивування продуцентів. Типова обв'язка ферментера для глибинної ферментації. . Література [1-3,4] | 4                          |
| <b>Розділ 3. Устаткування для концентрування та відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |
| 4                                                                                                                          | Конструкції відстійників. Література [1-3,4]                                                                                                                                                                                                                              | 2                          |
| 5                                                                                                                          | Типові конструкції ємнісних фільтрувальних апаратів циклічної дії. Фільтр-преси з ручним вивантаженням осаду. Автоматичні фільтр-преси ФПАКМ. Барабанні вакуум-фільтри. Стрічкові вакуум-фільтри. Інші конструкції фільтрів. . Література [1-3,4]                         | 2                          |
| 6                                                                                                                          | Сепарація: трубчасті сепаратори, тарілчасті сепаратори. Література [1-3,4]                                                                                                                                                                                                | 2                          |
| <b>Розділ 4. Оброблення нативних розчинів та біомас</b>                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |

|                                                              |                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7                                                            | Конструкції екстракторів з перемішувальним пристроєм, перколяторів, тощо. Література [1-3,4]           | 2  |
| <b>Розділ 5. Сушіння продуктів мікробіологічного синтезу</b> |                                                                                                        |    |
| 8                                                            | Конструкції сушарок (сублімаційні, пневматичні, розпилювальні та інші типи сушарок) Література [1-3,4] | 2  |
| 9                                                            | МКР                                                                                                    | 3  |
| 10                                                           | Екзамен                                                                                                | 30 |
|                                                              | Всього годин                                                                                           | 51 |

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Правила відвідування занять та поведінки на заняттях

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.

#### Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

- заохочувальні та штрафні бали в рамках навчальної дисципліни не передбачені.

#### Політика дедлайнів та перескладань

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.

#### Політика академічної доброчесності

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 заліку за іншого студента; копіювання матеріалів, захищених системою авторського права, без дозволу автора роботи.

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

#### Політика академічної поведінки і етики

студенти мають бути толерантним, поважати думку оточуючих, заперечення формулювати в коректній формі, конструктивно підтримувати зворотний зв'язок на заняттях.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з кредитного модуля згідно з робочим навчальним планом:

| Семестр | Начальний час |            | Розподіл навчальних годин |          |           |     | Контрольні заходи |                             |
|---------|---------------|------------|---------------------------|----------|-----------|-----|-------------------|-----------------------------|
|         | кредити       | акад. год. | Лекц.                     | Практич. | Лаб. роб. | СРС | МКР               | Семестров<br>а<br>атестація |
| 6       | 4,5           | 135        | 36                        | 36       | 18        | 63  | 1                 | екзамен                     |

### **Система рейтингових балів**

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, які він отримує за:

- 1) Виконання та захист 8-х задач на практичних заняттях – 16 балів
- 2) Заключний тест по практичним роботам – 8 балів
- 3) виконання та захист 4-х лабораторних робіт – 8 балів
- 4) МКР – 8 балів
- 5) Виконання журналу конструкцій апаратів – 10 балів

### **Система рейтингових балів**

#### **1. Робота на практичних заняттях**

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів на практичних заняттях дорівнює  $2 \times 8 = 16$  балам.

- «відмінно» - виконання 100% задач під час заняття та самостійної роботи студента (СРС) – 2 балів.
- «добре» - виконання 90% задач під час заняття та самостійної роботи студента (СРС) – 1,1-1,8 бали.
- «задовільно» - виконання  $\geq 50\%$  задач під час заняття та самостійної роботи студента (СРС) – 1 бали.
- «незадовільно» - невиконання задач під час заняття та самостійної роботи студента (СРС) – 0 балів.

#### **2. Заключний тест по практичним роботам**

Ваговий бал – 8.

- «відмінно» - виконання 100% задач під час заняття та самостійної роботи студента (тест) – 8 балів.
- «добре» - виконання 80% задач під час заняття та самостійної роботи студента (тест) – 6-7 бали.
- «задовільно» - виконання  $\geq 50\%$  задач під час заняття та самостійної роботи студента (тест) – 4-5 бали.
- «незадовільно» - невиконання задач або часткове ( $< 50\%$ ) під час заняття та самостійної роботи студента (тест) – 0-3 балів.

#### **3. Виконання і захист лабораторних робіт.**

Ваговий бал – 2. Кількість лабораторних робіт – 4. Максимальна кількість балів на всіх лабораторних заняттях  $4 \times 2 = 8$  балів.

1. Правильна відповідь на питання вхідного контролю – 0,5 балів.
2. Оформлення протоколу лабораторної роботи – 0,5 балів.
3. Своєчасна обробка результатів експерименту – 0,5 балів.
4. Своєчасний успішний захист лабораторної роботи – 0,5 балів.

#### **4. Модульний контроль:**

##### **3. Модульний контроль:**

Ваговий бал – 8. Кількість модульних контрольних робіт – 1. Максимальна кількість балів -8 балів.

Білет МКР складається з двох теоретичних питань і задачі. Максимальна кількість балів за теоретичне питання - 2

1. «відмінно», повна відповідь на теоретичне питання контрольної роботи (не менше 90% потрібної інформації) – 1,8-2 бали;

2. «добре», достатньо повна відповідь на теоретичне питання контрольної роботи (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 1,5 – 1,7 балів;

3. «задовільно», неповна відповідь на теоретичне питання контрольної роботи (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки 1,2-1,4 балів;

4. «незадовільно», невиконання завдання контрольної роботи (не відповідає вимогам) – 0 балів.

Максимальна кількість балів за виконання задачі – 4 бали.

1. «відмінно», повна відповідь на теоретичне питання контрольної роботи (не менше 90% потрібної інформації) – 3,6-4 бали;

2. «добре», достатньо повна відповідь на теоретичне питання контрольної роботи (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 3 – 3,5 балів;

3. «задовільно», неповна відповідь на теоретичне питання контрольної роботи (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки 2,4-2,9 балів;

4. «незадовільно», невиконання завдання контрольної роботи (не відповідає вимогам) – 0 балів.

##### **4. Альбом конструкцій.**

Ваговий бал – 10. Максимальна кількість балів -10 балів.

- «відмінно», виконані всі вимоги до альбому конструкцій – 9-10 балів;

- «добре», виконані майже всі вимоги до роботи, або є несуттєві помилки – 7,5-8,9 балів;

- «задовільно», є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки – 6-7,4 балів;

- «незадовільно», не відповідає вимогам до «задовільно» – 0 балів.

Максимальна сума балів стартової складової дорівнює 50. Необхідною умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних занять, робота на практичних заняттях і стартовий рейтинг не менше 25 балів.

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 25 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 0,5·25 балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 50 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 0,5·50 балів.

На екзамені  $R_E$  студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання і одне практичне. Перелік питань наведений у методичних рекомендаціях до освоєння кредитного модуля. Кожне теоретичне питання оцінюється у 15 балів, а практичне – 20 балів.

$$R_E = 2 \cdot 15 + 20 = 50$$

Система оцінювання теоретичних питань:



- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15-14 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13-11 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10-9 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного завдання

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання – 20-18 балів;
- «добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 17-15 балів;
- «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 14-12 балів;
- «незадовільно», завдання не виконано – 0 балів.

Сума балів  $R_E$  за кожне з трьох запитань контрольної роботи (екзамен) та семестровий контроль  $R_C$  переводиться до оцінки згідно з таблицею:

$$RD = R_C + R_E = 100 \text{ балів}$$

Для отримання оцінок використовується таблиця.

| Кількість балів           | Оцінка       |
|---------------------------|--------------|
| 100-95                    | Відмінно     |
| 94-85                     | Дуже добре   |
| 84-75                     | Добре        |
| 74-65                     | Задовільно   |
| 64-60                     | Достатньо    |
| Менше 60                  | Незадовільно |
| Не виконані умови допуску | Не допущено  |

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Приблизний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Класифікація біотехнологічних процесів за технологічними ознаками, способи їх реалізації.
2. Загальні методи біотехнології та апаратура для процесів біосинтезу.
3. Розрахунок теплової потужності, що виникає при синтезі біомаси.
4. Тепловий ефект від перемішування культуральної рідини і розрахунок потрібної площі теплообміну.
5. Експериментальні методи визначення теплової потужності.
6. Розрахунковий метод визначення теплової потужності, що передається культуральній рідині від перемішувального пристрою на основі його розрахунку залежно від потреби в кисні.
7. Пневматичне перемішування: Розрахунок енергії, що передається на перемішування з газовою фазою. Масштабування процесів перемішування.
8. Типи та розрахунок теплообмінних пристроїв ферментерів. Порядок розрахунку теплообмінного пристрою ферментера.
9. Типи ферментерів за особливостями процесу біосинтезу.
10. Класифікація ферментерів за конструкцією, способом введення енергії та перемішування.
11. Конструкції ферментерів ємкісного типу з електроперемішувальними пристроями.

12. Ферментери з пневматичним перемішуванням.
13. Типова обв'язка ферментера для глибинної ферментації.
14. Обладнання для відділення біомаси від нативного розчину.
15. Оптимізація процесу фільтрування.
16. Типові конструкції ємнісних фільтрувальних апаратів циклічної дії. Фільтр-преси з ручним вивантаженням осаду
17. Центрифугування, звичайні центрифуги.
18. Сепарація: трубчасті сепаратори, тарілчасті сепаратори. Флотування.
19. Технологічний розрахунок трубчастого вакуум-випарного апарата з висхідною плівкою, роторні вакуум-
20. Випарні апарати для концентрування цільових продуктів мікробіологічного синтезу.
21. Мембранні процеси концентрування і розділення.
22. Поняття про селективність і проникливість мембран.
23. Існуючі і перспективні конструкції апаратів для баромембранних процесів очищення і концентрування продуктів мікробіологічного синтезу.
24. Поняття про рідинну хроматографію.
25. Іонообмінні смоли та апаратура для іонного статичного і динамічного іонообміну.
26. Апаратура для рідинної екстракції
27. Обладнання для дезінтеграції мікробних мас та подальша обробка дезінтегрованої біомаси.
28. Твердо фазова екстракція: апаратура (ємнісні екстрактори з перемішувальним пристроєм, перколятори тощо) та
29. Технологічні розрахунки апаратів для твердофазової екстракції.
30. Сушіння продуктів мікробіологічного синтезу
31. Конструкції та розрахунок сушарок (сублімаційні, пневматичні, розпилювальні.)
32. Сублімаційне сушіння.
33. Технологічні розрахунки основних типів сушарок, що застосовуються у біотехнологічних виробництвах.

#### **Приблизний перелік питань на МКР**

У 6 семестрі модульна контрольна робота виконується за розділом 2.

Мета модульної контрольної роботи – виявити знання, принципів вибору та конструкції обладнання для проведення ферментаційних процесів та особливостей розрахунку обладнання для проведення ферментаційних процесів .

#### **Орієнтовний перелік теоретичних питань МКР**

1. Гідродинамічні процеси у ферментерах. Особливості перемішування газорідних систем.
2. Визначення потужності, що витрачається на перемішування в ферментерах з механічним перемішуючим пристроєм і барботером.
3. Конструкції барботерів.
4. Об'ємний коефіцієнт масо передачі за киснем під час культивування мікроорганізмів, способи визначення.
5. Вплив питомої поверхні контакту фаз (газ-рідина, рідина-клітина) на швидкість сорбції кисню.

6. Особливості масо перенесення під час барботажної аерації і пневмомеханічного перемішування.
7. Розрахунок теплового ефекту біосинтезу.
8. Розрахунок теплової потужності, що виникає при синтезі біомаси (визначення тепловиділень, що виникають при синтезі біомаси, у статиці і динаміці).
9. Тепловий баланс ферментера.
10. Тепловий ефект від перемішування культуральної рідини.
11. Розрахунок потрібної площі теплообміну в ферментері.
12. Розрахунок енергії, що передається на перемішування з газовою фазою.
13. Класифікація ферментерів за конструкцією, способом введення енергії та перемішування.
14. Конструкції ферментерів ємкісного типу з електроперемішувальними пристроями.
15. Ферментери з пневматичним перемішуванням.
16. Конструкції ферментерів для глибокого культивування продуцентів.
17. Розрахунок масообміну в ферментері.

### **Орієнтовний перелік задач МКР.**

1. Визначити потужність  $N_p$ , що витрачається на процес перемішування середовища у ферментері з турбінною мішалкою. Діаметр мішалки  $d=0,8$  м, частота обертання  $n=3$  с<sup>-1</sup>, густина середовища  $\rho=1060$  кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт потужності  $K_N=0,7$ .
2. Визначити площу поверхні змійовика  $F_{зм}$ , який необхідно встановити у ферментері для відведення теплової енергії, що виділяється у процесі біосинтезу  $Q=270 \cdot 10^9$  Дж. Тривалість процесу  $\tau=80$  год. Коефіцієнт тепловіддачі від води, що подається у змійовик на охолодження до середовища у ферментері  $K=500$  Вт/м<sup>2</sup>·К. Середня різниця температур  $\Delta t_{сер}=10^\circ\text{C}$ .
3. Визначити кількість кисню  $G_{O_2}$ , що поглинається в одиницю часу культуральною рідиною у ферментері номінальним об'ємом  $V_n=100$  м<sup>3</sup>. коефіцієнт заповнення ферментеру  $\varphi=0,5$ . Концентрація кисню на межі розділу фаз у стані рівноваги  $X^*=4 \cdot 10^{-4}$  кмоль/м<sup>3</sup>. Об'ємний коефіцієнт масо переносу в рідинній фазі  $\beta_v=0,5$  с<sup>-1</sup>.
4. Визначити середню швидкість повітря  $V_{сер}$  у отворах газорозподільного пристрою. Діаметр отворів  $d_0=5 \cdot 10^{-3}$  м, кількість отворів  $n=800$ , витрати повітря  $V=0,628$  м<sup>3</sup>/с.
5. Визначити тепловиділення  $Q$  в процесі вирощування посівної культури. Маса кукурудзяного борошна у поживному середовищі  $G_c=300$  кг. Крохмальність борошна  $k_{кр}=0,7$ . Коефіцієнт перерахунку крохмалю в глюкозу  $k=1,11$ . Тепловиділення при згоранні одного кілограму цукру  $q_c=15,7$  МДж/кг.
6. Визначити кількість теплової енергії  $Q$ , яка витрачається в ферментері ерліфтного типу разом з парою, яка виноситься повітрям з ферментеру. Номінальний об'єм ферментеру  $V_n=100$  м<sup>3</sup>,  $\varphi=0,35$ . Густина середовища у ферментері  $\rho_p=1000$  кг/м<sup>3</sup>. Кількість пари становить 10 % від маси середовища у ферментері. Питома теплота пароутворення  $r=2400$  кДж/кг.

**Приклад білету до МКР.**

1. Гідродинамічні процеси у ферментерах. Особливості перемішування газорідних систем.
2. Конструкції ферментерів ємкісного типу з електро перемішувальними пристроями.
3. Визначити середню швидкість повітря  $V_{\text{сер}}$  у отворах газорозподільного пристрою. Діаметр отворів  $d_0=5 \cdot 10^{-3}$  м, кількість отворів  $n=800$ , витрати повітря  $V=0,628$  м<sup>3</sup>/с.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено:**

доцент, к.т.н., доцент каф. БТ та І Ружинська Людмила Іванівна

*Ухвалено кафедрою біотехніки та інженерії (протокол № 13 від 27.06.2022)*

*Погоджено Методичною комісією ФБТ (протокол №9 від 30.06.2022)*