



# Реактори біотехнологічних виробництв

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>133 Галузеве машинобудування</i>
Освітня програма	Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин (5 кредитів): Лекції – 36 годин, Практичні заняття – 36 годин, СРС – 78 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит, МКР, РГР</i>
Розклад занять	<i>4 години на тиждень (2 години лекційних та 2 години практичних занять)</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф, зав. каф БТтаІ Мельник Вікторія Миколаївна 044-204-94-51, vmm71@i.ua Практичні: ас. Косова Віра Петрівна 044-204-94-51, vera_62@ukr.net
Розміщення курсу	<i>Кампус, Google, classroom</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Сучасні біотехнології характерні своєю мультидисциплінарністю. Біотехнологічні продукти і препарати використовуються у медичній, харчовій, хімічній, мікробіологічній промисловості і сільськомугосподарстві (рослинництві і тваринництві).

Промислове виробництво біопрепаратів являє собою складний комплекс взаємопов'язаних фізичних, хімічних, біофізичних, біохімічних, фізико-хімічних процесів перетворення речовини. Ці процеси відрізняються від хімічних значною складністю, через те що одночасно відбувається тепло- і масообмінні процеси і біохімічні реакції в клітині, що призводить до біохімічного перетворення речовини і збільшення (зростання) біомаси в реакційному об'ємі. На практиці це відбувається в спеціальних апаратах, які називаються реакторами біотехнологічних виробництв. Реактори біотехнологічних виробництв (ферментери) складають основу біотехнологічного виробництва. Біореактори призначені для здійснення біотехнологічних процесів і використовуються для культивування мікроорганізмів, накопичення біомаси, синтезу, відділення і очищення цільового продукту.

Мета навчальної дисципліни – вивчення фізико-хімічних основ та кінетичних закономірностей процесів у фармацевтичному та біотехнологічному обладнанні, конструкції сучасних реакторів біотехнологічних виробництв, їх класифікації і принципу дії, розрахунок і проектування типових апаратів (біореакторів), ознайомлення з особливостями технологічних процесів в фармацевтичній та біотехнологічній промисловості і експлуатації обладнання.

Предмет дисципліни – вивчення конструкцій і принципу дії основних типів біореакторів, методів їх проектування і розрахунку біореакторів, а також здатність використовувати їх на практиці.

*Відповідно до мети, підготовка бакалаврів за даною спеціальністю вимагає формування у студентів компетентностей:*

- Здатність застосовувати професійні знання й уміння на практиці;
- Здатність брати участь у роботах з розрахунку й проектування деталей і вузлів різних машин і механізмів та конструкцій відповідно до технічних завдань з використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем;
- Здатність систематичного вивчення та аналізу науково-технічної інформації, вітчизняного й закордонного досвіду з відповідного профілю підготовки;

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни «Реактори біотехнологічних виробництв», студенти після її засвоєння мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

#### Знання

- основних теорій, принципів, методів і понять у навчанні та професійній діяльності;
- особливостей технологічних процесів в фармацевтичній та біотехнологічній промисловості і експлуатації обладнання
- принципів побудови розрахункових схем елементів обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв
- природи виникнення кінематичного і силового (вібрації) збурення, шумів механізмів і приводу
- фізико-хімічних основ та кінетичних закономірностей процесів у фармацевтичному та біотехнологічному обладнанні
- фізичних властивостей середовища та коефіцієнтів переносу
- конструкцій та методик розрахунку обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

#### Уміння

- застосовувати сучасні методи розробки обладнання для реалізації маловідходних, енергозберігаючих та екологічно чистих технологій, що забезпечують безпеку життєдіяльності людей та їх захист від можливих наслідків аварій, катастроф та стихійних лих
- вибирати конструкції та розраховувати основні розміри, технологічні параметри обладнання для проведення процесів: - теплопередачі, випарювання та сушіння; - механічних та гідродинамічних ; - масообміну; - стерилізації обладнання, повітря, живильних середовищ; - періодичного та неперервного культивування мікроорганізмів
- здійснювати вибір схем апаратів, машин, установок для реалізації задач технологічного процесу
- будувати єдині технологічні лінії виробництва фармацевтичних препаратів
- виконувати графічні креслення та ескізи у відповідності із вимогами стандартів єдиної системи конструкторської документації
- розв'язувати складні непередбачувані задач і проблем, що передбачає збирання та інтерпретацію інформації (даних), вибір методів та інструментальних засобів, застосування інноваційних підходів

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

Вивчення дисципліни «Реактори біотехнологічних виробництв» базується на засадах інтеграції різноманітних знань, отриманих студентом при вивченні дисциплін природничого та інженерно-технічного спрямування.

Дисципліна ґрунтується на знаннях, одержаних студентами при вивченні навчальних дисциплін: математики, фізики, інженерної та комп'ютерної графіки; теоретичної механіки; процеси, апарати та машини галузі; теорія механізмів і машин; теоретичні засади прикладної гідравліки; мембранні технології в галузі; обладнання для пакування та фасування фармацевтичних та біотехнологічних виробництв.

Дисципліна «Реактори біотехнологічних виробництв» є вибірковою, що має забезпечити розв'язання проблем розроблення нового ефективного енергозберігаючого та екологічно безпечного обладнання та спрямована на засвоєння нових цілісних знань та професійної практики.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### ***Розділ 1. Загальна характеристика реакторів біотехнологічних виробництв***

**Тема 1.1.** Загальна характеристика реакторів біотехнологічних виробництв.

Найважливіші фактори, що визначають конструкцію реактора біотехнологічних виробництв.

**Тема 1.2.** Гідродинамічні режими і спосіб підведення енергії у реакторах біотехнологічних виробництв. Світові тенденції розвитку конструкцій реакторів біотехнологічних виробництв.

**Розділ 2. Класифікація реакторів біотехнологічних виробництв. Загальна характеристика типів. Призначення та принцип дії. Вивчення основних промислових зразків**

**Тема 2.1.** Реактори з ерліфтним типом перемішування.

**Тема 2.2.** Біореактори барботажні

**Тема 2.3** Реактори з механічним диспергуванням газу в рідині.

**Тема 2.4.** Реактори із самоусмоктуючими мішалками.

**Тема 2.5.** Біореактори ежекційні і струменеві.

**Тема 2.6.** Біореактори з комбінованим підведенням енергії.

**Тема 2.7.** Біореактори плівкові.

**Тема 2.8.** Контроль керування процесами культивування мікроорганізмів в реакторах біотехнологічних виробництв. Піногасіння.

**Тема 2.9.** Біореактори з магнітним перемішуванням.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### ***Базова література***

1. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник/ За ред. проф. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.: іл.

2. 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. Авдеева. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,46 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 60 с. (3,0 ав.арк) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41321>

3. Проектування реакторів біотехнологічних та фармацевтичних виробництв

[Електронний ресурс] : навчальний посібник / НТУУ «КПІ» ; уклад.: Л. І. Ружинська, І. А. Буртна, В. М. Поводзинський, В. Ю. Шибецький. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,7 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 131 с.  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/26741>

4. Мирончук В.Г., Лагода А.В., Пушанко М.М. Вибір та розрахунок обладнання цукропереробних заводів. – Київ: УДУХТ, 1999. – 58 с.

5. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов та інш./ За ред. акад. Гулого І.С. – Вінниця: Нова Книга, 2001. – 576 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Приклади і задачі: Навч. посіб. / За ред. проф. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2015. – 386 с.

7. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. — Львів: Інтелект-Захід, 2008. — 736 с.

8. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв: Навч. посібник у 3-х част. / Ю. І. Сидоров, Р. Й. Влязло, В. П. Новіков — Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2004. — 240 с.

### **Додаткова література**

9. Атлас з курсу «Реактори біотехнологічних виробництв» для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» / Уклад.: В.М. Мельник, В.В. Карачун, С.В. Фесенко. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. - 109 с.

10. Ружинська Л.І. Апаратурні схеми фармацевтичних та біотехнологічних виробництв. Порядок складання та вимоги до оформлення: посібник/ Ружинська Л.І., Поводзинський В.М., Шибецький В.Ю., Буртна І.А. Посібник. Київ, НТУУ “КПІ”.-140 стр.

11. Процеси і апарати харчових виробництв. Підруч. / А.М. Поперечний, О.І.Черевко, В.Б. Гаркуша та ін. за ред. А.М. Поперечного. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 304 с.

12. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв: Підруч. / О.С.Марценюк, Л. М. Мельник – К.: НУХТ, 2011. – 407 с.

13. Основи тепломасообміну: Підруч. / С. М. Василенко, А. І. Українець, В. В. Олішевський ; За ред. І.С. Гулого; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2014. — 250 с.

14. Інтенсифікація тепло-масообмінних процесів в харчових технологіях: монографія / А. І. Соколенко, А. А. Мазаракі, О. Ю. Шевченко та ін.; під ред. А. І.Соколенка. — К. : Фенікс, 2011. — 536 с.

15. Сирохман І. В. Сучасні досягнення харчової науки : навч. посіб. / І. В. Сирохман, О. І. Гирка, М.-М. В. Калимон. – Львів : Растр-7, 2018. – 507 с.

16. Основи наукових досліджень: навчальний посібник / Корягін М.В. - Алерта, 2017 — 622 с.

17. Гапонюк, О. І. Активне вентилявання та сушіння зерна / О. І. Гапонюк, М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич, І. І. Гапонюк. – О. : ВМВ, 2014. – 326 с.

18. Біологічні та фізико-хімічні основи харчових технологій: монографія / В.А. Домарецький, А.М. Куц, О.Ю. Шевченко та ін.; під ред. д-ра техн. наук, проф. В.А. Домарецького. — К.: Фенікс, 2011. — 704 с.

19. Технологія спирту: підруч. /В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян та ін.// під редакцією В.О. Маринченка. — Вінниця: Поділля-2000, 2003. — 496 с.

### **Інформаційні ресурси**

20. Bühler [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.buhlergroup.com/global/en/home.htm#.Vi4jsH2Oalw>

21. <http://sugar-journal.com.ua/>

22. <http://sugarua.com/>  
 23. <http://www.ukrsugar.kiev.ua/>  
 24. <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>  
 25. Веб-сайт науково-технічної бібліотеки національного університету харчових технологій. Режим доступу: [www/library.usuft.kiev.ua](http://www.library.usuft.kiev.ua)  
 26. [http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/22481/browse?type=title&amit\\_browse=%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8](http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/22481/browse?type=title&amit_browse=%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8)  
 27. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського [Електроний ресурс] / Режим доступу : [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua)  
 28. Журнал «Харчова промисловість» /Режим доступу: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/22482>  
 29. Журнал «Харчова наука і технологія» /Режим доступу: <http://fst.onaft.edu.ua/4authors>

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього

#### компонента)Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з дисципліни «Реактори біотехнологічних виробництв», 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 необхідного інтересу до самостійної роботи;
- визначення на сучасному рівні розвитку науки в області сучасних форм проектування реакторів біотехнологічних виробництв, прогнозування розвитку окремих типів і конструкцій на найближчі роки;
- відображення методичної обробки матеріалу (виділення головних положень, висновків, рекомендацій, чітке і адекватне їх формулювання);
- використання для демонстрації наочних матеріалів, поєднання, по можливості їх здемонстрацією результатів і зразків;
- викладання матеріалів досліджень чіткою і якісною мовою з дотриманням структурно- логічних зв'язків, роз'яснення всіх нововведених термінів і понять.

<i>Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)</i>	<i>Годин</i>
<p><b>Розділ 1. Загальна характеристика реакторів біотехнологічних виробництв.</b>  <b>Тема 1. Особливості процесів, що протікають в біореакторах. Найважливіші фактори, що визначають конструкцію реактора біотехнологічних виробництв.</b>            Лекція 1-2. Класифікація апаратів в залежності від умов проведення процесу біосинтезу. Світові тенденції розвитку конструкцій реакторів біотехнологічних виробництв. Класифікація ферментаторів. Ферментатор з кюветними аераторами. Призначення та принцип дії:загальні відомості. Література: [1, 8, 15, 16]. <i>Завдання на СРС.</i> Нові світові тенденції застосування біореакторів <i>Література: [1, 2, 3,15,]</i></p>	4

<p><b>Тема 2.</b> Гідродинамічні режими і спосіб підведення енергії у реакторах біотехнологічних виробництв.</p> <p>Лекція 3. Реактори ідеального (повного перемішування). реактори ідеального (повного) витіснення. Реактори з проміжним гідродинамічним режимом. Класифікація біореакторів за типом підводу енергії. Література [1]. <i>Завдання на СРС: Світові тенденції розвитку конструкцій апаратів Література: [1, 2, 3, 4]</i></p>	<b>2</b>
<p><b>Розділ 2. Класифікація реакторів біотехнологічних виробництв. Загальна характеристика типів. Призначення та принцип дії. Вивчення основних промислових зразків</b></p> <p><b>Тема 2.1.</b> Реактори з ерліфтним типом перемішування.</p> <p>Лекція 4-5. Загальна характеристика типів. Призначення та принцип дії: загальні відомості. Гідродинаміка процесів в ерліфтному апараті. Біореактор з кюветними аераторами. Біореактор з кожухотрубними аераторами. Природа процесу теплопереносу у ерліфтному апараті.</p> <p>Ферментер з внутрішнім циркуляційним контуром. Ерліфтно-периферійний ферментер. Ерліфтний багатозонний ферментер. Переваги і недоліки. Промислові зразки апаратів. Література [1, 2, 3, 5]. <i>Завдання на СРС: Природа процесу тепломасопереносу у ерліфтному апараті. Література [1, 6, 7].</i></p>	<b>4</b>
<p><b>Тема 2.2.</b> Біореактори барботажні</p> <p>Лекція 6. Загальна характеристика. Призначення та принцип дії: загальні відомості. Переваги і недоліки апаратів. Види газорозподільчих пристроїв (барботерів) барботажних апаратів. Використання контактних пристроїв. Реактор барботажний колонний. Реактор барботажний газліфтний. Реактор барботажний змієвиковий. Література [1,4]. <i>Завдання на СРС: Конструкція газорозподільчого пристрою жолобчастого барботеру. Література [1, 9, 12].</i></p>	<b>2</b>
<p><b>Тема 2.3.</b> Реактори з механічним диспергуванням газу в рідині.</p> <p>Лекція 7-9. Загальна класифікація і характеристика. Конструкції типів механічних мішалок. Кінематичні схеми руху рідини в реакторах з мішалками. Особливості конструктивних елементів біореакторів з мішалками. Промислові ферментери з мішалками періодичної дії. Література [13,1 4].</p> <p><i>Завдання на СРС: Процеси т тепломасообміну в реакторах. Література [1].</i></p>	<b>6</b>
<p><b>Тема 2.4.</b> Реактори із самоусмоктуючими мішалками.</p> <p>Лекція 10. Класифікація апаратів. Ферментер системи Вальдгофа. Конструкція і принцип дії самоусмоктуючої мішалки. Переваги і недоліки застосування самоусмоктуючих мішалок. Конструкції промислових ферментерів з самовсмоктуючими мішалками. Література [10, 12, 14]. <i>Завдання на СРС: Коефіцієнт масопереносу в апараті з мішалкою. Література [1].</i></p>	<b>2</b>
<p><b>Тема 2.5.</b> Біореактори ежекційні і струменеві.</p> <p>Лекція 11-12. Загальна характеристика ежекційних ферментерів. Ферментери з ежекційною системою аерації. Загальна характеристика струменевих ферментерів. Промислові струменеві ферментери. Ферментер струменевого типу із шахтними перепадами. Література [4, 9, 15]. <i>Завдання на СРС: Розрахунок потужності, що використовується для перемішування в ферментері з мішалкою в циркуляційному контурі. Література[1].</i></p>	<b>4</b>

<p><b>Тема 2.6.</b> Біореактори з комбінованим підведенням енергії. Лекція 13-14. Загальні відомості. Ознайомлення з принципом дії . Модифіковані ферментери тарілчасті колонні. Реактори з тарілками перехресного, провального і прямоточного типів. Конструкції і принцип дії. Модифікований кожухотрубний реактор. Ферментери з плаваючою насадкою. Принцип роботи. Переваги і недоліки. Імпульсні ферментаційні апарати. Принцип роботи. Переваги і недоліки. Література [14, 17]. Завдання на СРС: Конструктивні особливості модифікованих газліфтних реакторів Література [1].</p>	<b>4</b>
<p><b>Тема 2.7.</b> Біореактори плівкові. Лекція 15. Реактори зі стікаючою плівкою. Реактори із висхідною плівкою. Конструктивні особливості. Гідродинаміка потоку. Література [1]. Завдання на СРС: Процеси тепло-і масопереносу в апараті Література [4, 17].</p>	<b>2</b>
<p>Лекція 16. Модульна контрольна робота</p>	<b>2</b>
<p><b>Тема 2.8.</b> Контроль і керування процесами культивування мікроорганізмів в реакторах біотехнологічних виробництв. Піногасіння. Лекція 17. Способи піногасіння. Піногасник ударно-зсувної дії. Піногасник відцентрово- фільтраційної дії. Література [5, 8, 9]. Завдання на СРС: Характеристики роторного піногасника ударно-зсувної дії. Література [1].</p>	<b>2</b>
<p><b>Тема 2.9.</b> Біореактори з магнітним перемішуванням. Лекція 18. Особливості магнітного перемішування. Конструкції біореакторів з магнітним перемішуванням. Переваги і недоліки Література [1, 12]. Завдання на СРС: Ознайомлення з модифікаціями конструкцій Література [1, 2, 17, 18].</p>	<b>2</b>
<p><b>ВСЬОГО</b></p>	<b>36</b>

### Практичні заняття

У системі професійної підготовки студентів за цією дисципліною практичні заняття є доповненням до лекційного курсу, вони закладають і формують основи кваліфікації бакалавра з галузевого машинобудування.

Основні завдання циклу практичних занять:

- закріпити і поглибити знання теоретичного характеру в області проектування обладнання;
- вміти застосовувати професійні знання й уміння на практиці;
- брати участь у роботах з розрахунку й проектування деталей і вузлів різних машин і механізмів та конструкцій відповідно до технічних завдань з використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем;
- сприяти оволодінню навичками та вміннями виконання розрахунків, графічних та інших завдань;
- навчити працювати з науковою та довідковою літературою і схемами;
- формувати способи і прийоми самостійного навчання.

<b>Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</b>	<b>Годин</b>
<p><b>Розділ 1. Загальна характеристика реакторів біотехнологічних виробництв.</b></p> <p><b>Тема 1.2.</b> Гідродинамічні режими і спосіб підведення енергії у реакторах біотехнологічних виробництв.</p> <p><i>Практичне заняття 1-2.</i> Розрахунок об'єму культуральної рідини. Література: [1, 2, 3, 4].</p> <p>Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [2]</p>	4
<p><b>Розділ 2. Класифікація реакторів біотехнологічних виробництв. Загальна характеристикатипів. Призначення та принцип дії. Вивчення основних промислових зразків</b></p> <p><b>Тема 2.1.</b> Реактори з ерліфтним типом перемішування</p> <p><i>Практичне заняття 3-4.</i> Розрахунок швидкості циркуляції рідини в ерліфтному ферментері, що скомпонований ізкувет з барботажними трубами колового перерізу. Література: [3, 4, 10]. Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [2]</p>	4
<p><b>Тема 2.2.</b> Біореактори барботажні</p> <p><i>Практичне заняття 5-6.</i> Розрахунок газорозподільчого пристрою (жолобчастого барботеру). Література: [2, 3].</p> <p>Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [2]</p>	4
<p><b>Тема 2.3</b> Реактори з механічним диспергуванням газу в рідині.</p> <p><i>Практичне заняття 7-8.</i> Розрахунок коефіцієнту масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідиніЛітература: [2, 3, 10].</p> <p>Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [2]</p>	4
<p><b>Тема 2.4.</b> Реактори із самоусмоктуючими мішалками</p> <p><i>Практичне заняття 9-10.</i> Розрахунок потужності, яка витрачається при перемішуванні у ферментаторі з мішалкою.СРС. Література: [2, 9, 12].</p> <p>Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [2]</p>	4
<p><b>Тема 2.5.</b> Біореактори ежекційні і струменеві</p> <p><i>Практичне заняття 11-12.</i> Розрахунок розміру краплин в умовах пневмоперемішування. Література: [3, 4, 10]. Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [4, 7, 9]</p>	4
<p><b>Тема 2.6.</b> Біореактори з комбінованим підведенням енергії.</p> <p><i>Практичне заняття 13-14.</i> Розрахунок витрат повітря, що надходить у шахтний ферментер. Література: [2, 3]. Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [2]</p>	4
<p><b>Тема 2.8.</b> Контроль керування процесами культивування мікроорганізмів в реакторахбіотехнологічних виробництв. Піногасіння.</p> <p><i>Практичне заняття 15-16.</i> Розрахунок потужності, необхідної для роторного піногасника ударно-зсувної дії.Література: [3, 4].</p> <p>Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [2]</p>	4



<p><i>Практичне заняття 17-18. РОЗРАХУНОК ВАРОЧНИХ АПАРАТІВ І ЗМІШУВАЧІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ. Література: [2, 3, 4, 10].</i></p> <p>Завдання на СРС. Виконання розрахунків за індивідуальним завданням. Література: [2-4, 10]</p>	4
ВСЬОГО	36

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота займає 52 % часу вивчення кредитного модуля, включаючи і підготовку до екзамену. Головне завдання самостійної роботи студентів – це опанування наукових знань в темах, що не увійшли у перелік лекційних питань шляхом особистого пошуку інформації, формування активного інтересу до творчого підходу у навчальній роботі. У процесі самостійної роботи в рамках освітнього компоненту студент повинен навчатися глибоко аналізувати сучасні підходи до розробки та впровадження новітніх енергоефективних технологій і обладнання.

Метою виконання розрахунково-графічної роботи студентів в рамках підготовки майбутнього фахівця зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування є удосконалення їх практичної підготовки, набуття та поглиблення навичок активної творчої інженерної роботи, а також виробничо-технологічної та проектної діяльності в галузі високотехнологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв. На прикладі розрахунків типових біореакторів майбутні спеціалісти мають оволодіти основними поняттями і закономірностями течії тепломасообмінних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв, методами розрахунку основних деталей і вузлів реакторів біотехнологічних виробництв, знати основні правила оформлення конструкторської документації, вміти користуватися державними стандартами, виробничою документацією і іншими нормативними документами професійної діяльності, використовувати сучасні засоби розрахунків і проектування. Виконання РГР дасть змогу студентам самостійно розв'язувати задачі конструювання реакторів та їх проектування.

<i>№ з/п</i>	<i>Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання</i>	<i>Кількість годин СРС</i>
<b>Розділ 1.</b> Загальна характеристика реакторів біотехнологічних виробництв.		
1	Нові світові тенденції використання біотехнологій і біореакторів в різних галузях промисловості. Світові тенденції розвитку конструкцій апаратів <i>Література: [4]</i>	10
<b>Розділ 2</b> Класифікація реакторів біотехнологічних виробництв. Загальна характеристика типів. Призначення та принцип дії. Вивчення основних промислових зразків		

2	Природа процесу тепломасопереносу у ерліфтному апараті. Дослідження конструкцій масопереносу пристроїв біореакторів. Види та принцип застосування перемішувачів пристроїв в біореакторах. Тепломасоперенос в апараті з мішалкою. Тепломасоперенос в апараті з циркуляційним контуром. Конструктивні особливості модифікованих газліфтних реакторів. Процеси тепло- і масопереносу в плівкових біореакторах. Ознайомлення з модифікаціями конструкцій біореакторів з магнітним перемішуванням.  Контроль і керування процесами культивування мікроорганізмів в реакторах біотехнологічних виробництв. Прилади, що використовуються. Піногасіння. Природа виникнення пін та засоби боротьби з цим явищем. <i>Література: [4]</i>	23
3	<i>Виконання розрахунково-графічної роботи</i>	15
4	<i>Підготовка до іспиту</i>	30
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>78</b>

*У 7 семестрі студентам запропонована розрахунково-графічної робота. Її виконання вимагає розв'язання сукупності задач з гідродинаміки апарату та його конструювання. РГР виконується графоаналітичним методом у певній послідовності. Особливу увагу необхідно сконцентрувати на виборі початкових даних. Використовуючи ГОСТ необхідно обрати тип перемішувача пристрою. Забезпечити тепловий та матеріальний потоки технологічного процесу для фінального конструювання біореактору.*

*Виконання РГР дасть змогу студентам самостійно розв'язувати задачі конструювання реакторів та їх проектування.*

## 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 формальних 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 недоброчесної роботи неприпустимі. До плагіату відноситься відсутність посилань при використанні друкованих та електронних матеріалів, цитат, думок інших авторів. Неприпустимі підказки та списування під час написання модульних контрольних робіт, проведення занять; виконання індивідуального завдання, здачі екзамену; 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)**

*Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.*

*Семестровий контроль: екзамен.*

*Умови допуску до семестрового контролю: зарахування практичних робіт, МКР, РГР та семестровий рейтинг не менше 40 балів.*

Семестрова атестація проводиться у вигляді іспиту. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і університетська шкала оцінювання.

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

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
	Кредити	акад. год.	Лекції	Практичні	Лаб. роб.	СРС	МКР	РГР	Семестровий контроль
7	5	150	36	36	–	78	1	1	іспит

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

- 1) Виконання та захист 18-ти задач на практичних заняттях –  $18 \times 1 = 18$  балів;*
- 2) МКР – 12 балів;*
- 3) РГР – 20 балів.*

#### **Система рейтингових балів**

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

*Ваговий бал – 1. Максимальна кількість балів на практичних заняттях дорівнює  $18 \times 1 = 18$  балам.*

*- «відмінно» - виконання 100% задач під час заняття та самостійної роботи студента (СРС) – 0,95 - 1 балів.*

*- «добре» - виконання 80% задач під час заняття та СРС – 0,75 – 0,94 балів.*

*- «задовільно» - виконання  $\geq 50\%$  задач під час заняття та СРС – 0,6 – 0,74 балів.*

*- «незадовільно» - невиконання задач (СРС) – 0 балів.*

##### **2. Модульна контрольна робота:**

*Ваговий бал – 12. Кількість МКР – 1. Максимальна кількість балів -12 балів.*

*– «відмінно», повне виконання завдань контрольної роботи (не менше 90% потрібної інформації) – 11,4-12 балів;*

– «добре», достатньо повне виконання завдань контрольної роботи (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 9 –11,3 балів;

– «задовільно», неповне виконання завдань контрольної роботи (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки –7,2– 8,9 бали;

– «незадовільно», невиконання завдань контрольної роботи (не відповідає вимогам на 7,2 бали) – 0 балів.

### **3. Розрахунково-графічна робота:**

Ваговий бал – 20. Кількість РГР – 1. Максимальна кількість балів -20 балів.

– «відмінно», повне виконання завдань контрольної роботи (не менше 90% потрібної інформації) –19-20 балів;

– «добре», достатньо повне виконання завдань контрольної роботи (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 15 –18 балів;

– «задовільно», неповне виконання завдань контрольної роботи (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки –12– 14 бали;

– «незадовільно», невиконання завдань контрольної роботи (не відповідає вимогам на 12 балів) – 0 балів.

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 9-балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 7 балів. За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 46 балів.

Умови допуску до екзамену: **зарахування практичних робіт, МКР, РГР та семестровий рейтинг** має становити не менше 40 балів.

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Перелік запитань наведений у Рекомендаціях до засвоєння кредитного модуля. Кожне запитання (завдання) оцінюється за такими критеріями:

для теоретичних питань:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15-14 балів;

- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13-11 балів;

- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10-9 балів.

для практичного питання:

- повне безпомилкове розв'язування завдання – 20-18 балів;

- повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 17-15 балів;

- завдання виконане з певними недоліками – 14-12 балів.

6. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

Кількість балів	Оцінка
Не виконані умови допуску	Не допущено

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

### Приблизний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Проведіть класифікацію біореакторів за способом підведення енергії до апарата.
2. Опишіть конструкцію і принцип дії ерліфтного ферментера.
3. Назвіть найважливіші фактори, що визначають вибір конструкції біореактора. Поясніть їх важливість.
4. Охарактеризуйте особливості процесів, що протікають в реакторах біотехнологічних виробництв.
5. Опишіть конструкцію і принцип дії промислового ерліфтного ферментера системи Лефрансуа об'ємом  $1300 \text{ м}^3$ .
6. Опишіть конструкцію і принцип дії колонного барботажного ферментера.
7. Мета застосування контактних пристроїв в барботажних ферментерах.
8. Опишіть конструкцію і принцип дії ерліфтного ферментера з кожухотрубними аераторами
9. Назвіть необхідні умови здійснення процесу ферментації.
10. Опишіть конструкцію барботерів і газорозподільних пристроїв в барботажних ферментерах.
11. Опишіть конструкцію і принцип дії ерліфтного ферментера системи Лефрансуа
12. Проведіть класифікацію біореакторів за гідродинамічним режимом роботи.
13. Опишіть конструкцію і принцип дії барботажного біореактора. Опишіть особливості масообміну.
14. Проведіть класифікацію біореакторів за типом конструкції. Наведіть приклади.
15. Опишіть конструкції барботажних ферментера за наявністю контактних пристроїв.
16. Які світові тенденції конструкції біореакторів.
17. Опишіть конструкцію і принцип дії промислового кюветного ерліфтного ферментера системи Лефрансуа об'ємом  $600 \text{ м}^3$ .
18. Визначити швидкість циркуляції рідини у ферментері? Дано: ерліфтний ферментер,  $D=11000 \text{ мм}$ ,  $H=13,7 \text{ м}$ ,  $V_H=1300 \text{ м}^3$ ,  $V_J=480 \text{ м}^3$  ( $K_3 \approx 0,37$ ),  $q_{уд}=0,024 \text{ Н}\cdot\text{м} / (\text{с}\cdot\text{м}^3)$ ,  $z=8$ ,  $D_K=2000 \text{ мм}$ ,  $n=169$ ,  $H_{ТР}=7,0 \text{ м}$ ,  $d_{ТР}=100 \text{ мм}$ ,  $t=34^\circ\text{C}$ .
19. Розрахувати жолобчатий барботер. Дано:  $D=2 \text{ м}$ ,  $H=20 \text{ м}$ ,  $a=0,3 \text{ м}$ ,  $l_1=l_3=1,53 \text{ м}$ ,  $l_2=D=2 \text{ м}$ ,  $\omega = 0,3 \text{ м/с}$ .
20. Визначити потужність, яка витрачається на перемішування у ферментері з мішалкою в циркуляційному контурі? Дано:  $V=3 \text{ м}^3$ ,  $\rho_{ж} = 1100 \text{ кг} / \text{м}^3$ ,  $\nu_{ж} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ,  $\varphi_r = 0,15$ .
21. Дайте схему і принцип дії інжектору в ферментерах з інжекційною системою аерації
22. Сформулюйте переваги і недоліки струменевого ферментера з шахтним перепадом
23. Розрахувати потужність, що витрачається на перемішування газорідної суміші  $N_{гж}$  при механічному диспергуванні газу в рідину ферментері з шестилопатевою відкритою турбіною мішалкою.
24. Сформулюйте переваги і недоліки інжекційних ферментерів
25. Опишіть конструкцію і принцип дії струменевого ферментера з шахтним

- перепадомемністю 1000 мЗ.
26. Опишіть загальну конструкцію і принцип дії двох основних типів струменевих ферментерів
  27. Дайте схему і принцип дії колонного ферментера фірми «Уде-Хехст» (Німеччина)
  28. Опишіть типи конструкцій газліфтних колонних ферментерів фірми «ICI», Великобританія
  29. Назвіть основні типи ферментерів тарілчастих колонних за конструкцією тарілок і організацією руху потоків.
  30. Опишіть конструктивні особливості реакторів зі стікаючою плівкою. Реактори із висхідною плівкою..
  31. Опишіть гідродинаміку потоку в реакторах зі стікаючою плівкою. Реактори із висхідною плівкою..
  32. Опишіть конструктивні особливості реакторів із висхідною плівкою.. Гідродинаміка потоку.
  33. Опишіть гідродинаміку потоку в реакторах зі стікаючою плівкою.
  34. Реактори з комбінованим підведенням енергії. Ферментери з плаваючою насадкою. Принцип роботи. Переваги і недоліки.
  35. Назвіть способи піногасіння, їх переваги і недоліки.
  36. Опишіть конструкцію і принцип дії піногасника ударно-зсувної дії.
  37. Контроль і керування процесами культивування мікроорганізмів в реакторах біотехнологічних виробництв
  38. Імпульсні ферментаційні апарати. Принцип роботи. Переваги і недоліки.
  39. Розрахувати розмір крапель, стійких у турбулентному потоці культурального середовища  $d_k$ , швидкість спливання крапель у культуральному середовищі  $I_d$  і середню тривалість перебування крапель в зоні змішування  $\tau$  в зоні змішування пневмодиспергатора (ерліфтий апарат)
  40. Розрахувати потужність роторного піногасника ударно-зсувної дії.
  41. Розрахувати витрати повітря, що поступає у шахтний ферментер.
  42. Розрахувати швидкості циркуляції рідини у ферментері з магнітною мішалкою.

### **ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

Відповідно до вимог виконання домашньої роботи необхідно розрахувати біореактор з перемішуючим пристроєм для культивування мікроорганізмів. Завдання включає назву теми і вихідні дані для розрахунків і проектування (табл.1).  
Необхідно:

1. Підібрати тип мішалки
2. Визначити необхідний внутрішній діаметр
3. Визначити основні геометричні розміри реактора
4. Розрахувати потужність перемішування
5. Розрахувати мішалку
6. Зробити тепловий розрахунок
7. Сконструювати апарат

Таблиця 1 - Вихідні дані для розрахунку апарата з перемішуючим пристроєм

Завдання Варіант	$V_p, \text{м}^3$	$\Phi_{зан}$	$W_2, \text{м}^3 /$	$t_p, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_8, ^\circ\text{C}$	$q_{vc}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$	$q_{vt}, \frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$
1	10	0,7	0,1	36	60	15	0,001	15
2	16	0,5	0,1	38	60	15	0,001	15
3	32	0,7	0,5	40	60	15	0,0008	12
4	50	0,5	0,7	43	60	15	0,001	15
5	63	0,7	0,8	45	60	15	0,001	12
6	100	0,5	0,1	38	60	15	0,001	15
7	10	0,7	0,1	40	60	15	0,001	15
8	16	0,5	0,1	36	60	15	0,001	15
9	32	0,7	0,1	40	60	15	0,001	15
10	50	0,5	0,1	32	60	15	0,001	15
11	63	0,7	0,1	29	60	15	0,001	15
12	100	0,5	0,1	31	60	15	0,001	15
13	10	0,7	0,1	44	60	15	0,001	15
14	16	0,5	0,1	50	60	15	0,001	15
15	32	0,7	0,1	40	60	15	0,001	15
16	50	0,5	0,1	48	60	15	0,001	15

$$C = 0,1C_p$$

$V_p$  – робочий об'єм апарату;

$W_2$  - витрата повітря, що подається в апарат

$\Phi_{зан}$  – коефіцієнт заповнення

$q_{vc}$  питома (віднесена до одиниці об'єму культуральної рідини) швидкість поглинання кисню мікроорганізмами

$q_{vt}$  питома швидкість виділення теплоти в результаті біохімічних процесів

$n$  – частота обертання мішалки;

$t_p$  – температура розчину;

$t_8$  – температура холодоагенту

$C_p$  - концентрація насичення розчину КОН-10% киснем.

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено д.т.н., проф. Мельник В.М.,

ас. Косова В.П.

Ухвалено кафедрою біотехніки та інженерії (протокол № 13 від \_\_.06.2024).

Погоджено Методичною комісією факультету біотехнології і біотехніки

(протокол № 19 від 28.06.2024 р.)