



Основи реології та гідродинаміка суцільного середовища

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	16 – Хімічна інженерія та біоінженерія
Спеціальність	162 – Біотехнології та біоінженерія
Освітня програма	Біотехнології
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити (120 годин) в т. ч. лекцій – 28 годин, практичні роботи – 26 годин, СРС – 66 годин.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік / модульна контрольна робота
Розклад занять	На сайтах http://roz.kpi.ua та https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. каф БТ та І Костик Сергій Ігорович 044-204-94-51, kostyksergey@ukr.net
Розміщення курсу	Електронний Кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, Платформа дистанційного навчання «Сікорський»

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна "Основи реології та гідродинаміка суцільного середовища" є важливою для студентів, які спеціалізуються на біотехнологічних виробництвах та технологіях, і надає необхідні знання та навички для аналізу, моделювання та оптимізації поведінки рідин, суспензій та інших складних середовищ, що часто зустрічаються у біотехнологічних процесах. Вивчення дисципліни охоплює реологічні властивості рідин і твердих тіл, зокрема неньютонівських рідин, суспензій та полімерних розчинів, що є критичними для розробки та оптимізації технологій, таких як культивування мікроорганізмів, виробництво ферментів, біоремедіація тощо. Студенти вивчають закони руху цих середовищ у біореакторах, трубопроводах та інших технологічних апаратах, включаючи моделювання різних режимів течії (ламінарного, турбулентного) та визначення необхідних гідродинамічних параметрів для забезпечення ефективних умов у біотехнологічних процесах. Вони здобувають навички розрахунку теплових і механічних навантажень, втрат тиску та енергетичних витрат, що дозволяє оптимізувати обладнання для перемішування, транспортування і обробки біологічних середовищ. Після завершення дисципліни студенти зможуть аналізувати реологічні властивості різних біологічних та техногенних середовищ, застосовувати отримані знання для моделювання руху складних рідин, покращувати енергоефективність та продуктивність біотехнологічних процесів і систем, а також вирішувати інженерні задачі у сфері біотехнології та суміжних галузях.

Дисципліна «Основи реології та гідродинаміка суцільного середовища» є складовою частиною професійно-орієнтованого циклу підготовки бакалавра спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія, освітньої програми «Біотехнології».

Метою вивчення дисципліни "Основи реології та гідродинаміка суцільного середовища" полягає в наданні майбутнім фахівцям знань та навиків для аналізу, моделювання та оптимізації поведінки різноманітних рідин, емульсій та суспензій, зокрема у біотехнологічних процесах, а також у здатності розраховувати та проектувати ефективні технологічні системи, що працюють з плинними суцільними середовищами в умовах біотехнологічного виробництва.

Предметом вивчення дисципліни є закономірності руху і деформації суцільних середовищ (ньютонівських та неньютонівських рідин, суспензій, емульсій та біологічних систем), а також гідродинамічні явища, що відбуваються у технологічному обладнанні біотехнологічних та фармацевтичних виробництв.

Відповідно до сертифікатної програми дисципліна має забезпечувати:

Загальні компетентності:

- Здатність проектувати та розраховувати системи транспортування та обробки рідких і напіврідких матеріалів у виробничих процесах.
 - Здатність адаптувати обладнання до реологічних характеристик біологічних матеріалів для мінімізації пошкодження клітин.
 - Здатність аналізувати гідродинамічні процеси та їх вплив на ефективність біотехнологічного обладнання.
- Здатність використовувати основні закони гідродинаміки для вирішення конкретних інженерних і технологічних задач.

Очікувані результати навчання

- Вміти розраховувати рух рідин і суспензій у трубопроводах, резервуарах, ферментерах та інших системах, що використовуються в біотехнологічному виробництві.
- Вміти розрахувати та підібрати насоси, компресори, трубопровідну арматуру з урахуванням характеристик рідин, суспензій, емульсій та інших плинних середовищ.
- Вміти прогнозувати поведінку неньютонівських біологічних середовищ у промислових умовах, застосовуючи математичні моделі.
- Вміти розраховувати напруження та швидкості зсуву потоку в культуральних рідинах та оцінювати їхній вплив на життєдіяльність мікроорганізмів.
- Вміти визначати основні теплофізичні властивості рідин і газів, які використовуються в біотехнологічному обладнанні.

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

Вивчення дисципліни «Основи реології та гідродинаміка суцільного середовища» базується на знаннях та навичках, здобутих студентами при вивченні таких дисциплін, як «Фізика», «Хімія» та тісно пов'язана з дисциплінами "Процеси і апарати біотехнологічних виробництв", "Устаткування виробництв галузі».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи реології суцільного середовища в біотехнологічних процесах.

Тема 1.1. Загальні принципи реології та гідродинаміки суцільного середовища.

Тема 1.2. Визначення реологічних властивостей біологічних рідин: в'язкість, пружність, пластичність.

Тема 1.3. Течія ньютонівських і неньютонівських рідин (суспензії, гелі, полімери).

Тема 1.4. Закони ідеальних і реальних газів.

Розділ 2. Реологія та гідродинаміка в біотехнологічних апаратах.

Тема 2.1. Основний закон гідростатики для ємнісних апаратів та трубопроводів.

Тема 2.2. Основні закони гідродинаміки.

Тема 2.3. Моделювання режимів течії в біотехнологічних системах (ламінальний, турбулентний, перехідний).

Тема 2.4. Гідравлічний опір при русі рідини та газу. Розрахунок втрат тиску та напору в біореакторах та інших біотехнологічних апаратах.

Тема 2.5. Гідродинаміка процесу перемішування. Визначення гідродинамічних параметрів для перемішування в біореакторах.

Тема 2.6. Особливості руху ньютонівських і неньютонівських рідин.

Тема 2.7. Визначення параметрів аерації та газової дисперсії в біореакторах для оптимізації процесів культивування мікроорганізмів.

Тема 2.8. Гідравлічні ефекти.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базові інформаційні ресурси

1. Іванчук Я.В. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Частина 1. Основні закони, рівняння і визначення : навчальний посібник / Я. В. Іванчук, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 183 с. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Ivanchuk_P1_2019_183.pdf
2. Реологія: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. І. Івіцький. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 88 с. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/8cbc5538-bb6e-44fa-b84b-7f6c73e4b896/content>
3. Гідроаеромеханіка та гідравліка [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Механіка рідини та газу» спеціальності 131 «Прикладна механіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. В. А. Ковальов. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 88 с. <https://ela.kpi.ua/items/805e8208-8535-4109-bd2c-eed0d999d809>
4. Струтинський, С. В. Основи гідравліки [Електронний ресурс] : навчальний посібник / С. В. Струтинський ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 24,3 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2012. <https://ela.kpi.ua/items/05bc7e5f-c26c-4cff-9e76-fef29290bccf>
5. Гідравліка : навчальний посібник / Л. В. Возняк, П. Р. Гімер, М. І. Мердух, О. В. Паневник. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. – 327 с.
6. Константинов Ю. М. Технічна механіка рідини та газу : підручник / Ю. М. Константинов, О. О. Гіжа. – К. : Вища шк., 2002. – 277 с.
7. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід : підручник / В. Р. Кулінченко. – Київ : ІНКОС, Центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
8. Буренніков Ю. А. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навч. посібник / Ю. А. Буренніков, І. А. Немировський, Л. Г. Козлов. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 273 с.

Додаткові інформаційні ресурси

1. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Частина І. Ферментація. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2004.- 240 с.
2. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування: Навчальний посібник. - Львів: "Інтелект-Захід", 2008, - 736 с.
3. Процеси і апарати харчових виробництв /За ред. Малежика І.Ф. Київ , НУХТ. 2003. – 400 с.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з дисципліни «Основи реології та гідродинаміки суцільного середовища», 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 формулюваннях);
- 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.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кіл-ть ауд. годин
1	Лекція 1 Загальні принципи реології та гідродинаміки суцільного середовища. Основні властивості твердих тіл, рідин та газів. Література [1-8].	2
2	Лекція 2. Способи і методи вимірювання теплофізичних властивостей суцільних середовищ. Визначення реологічних властивостей біологічних рідин: в'язкість, пружність, пластичність. Література [1-8].	2
3	Лекція 3. Теорія пружності. Механіка руйнування. Теорія пластичності. Застосування теорій в біотехнологічних виробництвах. Література [1-6].	2
4	Лекція 4. Ньютонівські і неньютонівські рідини та їх основні властивості. Дисперсні системи. Течія неньютонівських рідин в біотехнологічних процесах (суспензії, гелі, полімери). Література [1-8].	2
5	Лекція 5. Ідеальний і реальний газ. Рівняння стану ідеального газу. Рівняння стану реального газу. Основні термодинамічні параметри стану системи. Визначення параметрів аерації та газової дисперсії в біореакторах для оптимізації процесів культивування мікроорганізмів. Література [1-8].	2
6	Лекція 6. Основне рівняння гідростатики. Поняття гідростатичного тиску та напору. Парадокс Паскаля. Закон сполучених посудин. Сила гідростатичного тиску на дно та стінки біореактора. Принцип Архімеда. Література [1-8].	2
7	Лекція 7. Основи гідродинаміки. Основні характеристики потоку рідини. Швидкість та витрата рідини. Рівняння нерозривності потоку. Література [1-8].	2
8	Лекція 8. Режим руху рідини. Ламінарний, перехідний і турбулентний режим руху. Розподіл швидкостей рідини у потоці при різних режимах. Моделювання режимів течії в біотехнологічних системах. Література [1-8].	2
9	Лекція 9. Рівняння Бернуллі для ідеальної рідини. Геометрична та фізична суть рівняння Бернуллі. Принцип Бернуллі та основні його наслідки. Форми представлення рівняння Бернуллі. Література [1-8].	2
10	Лекція 10. Гідродинаміка перемішування. Потужність, що витрачається на	2

	процес перемішування. Швидкість та інтенсивність процесу перемішування. Визначення гідродинамічних параметрів для перемішування в біореакторах. Література [1-8].	
11	Лекція 11. Швидкість зсуву потоку та величина напружень зсуву в культуральній рідині. Проектування систем для транспортування біологічних середовищ (помпи, трубопроводи, насосні станції). Література [1-8].	2
12	Лекція 12. Гідравлічний та аеродинамічний опір. Втрати тиску та напору на тертя. Місцеві гідравлічні опори. Основи розрахунку трубопроводів. Визначення коефіцієнту аеродинамічного опору. Література [1-8].	2
13	Лекція 13. Витікання рідини через насадки. Визначення витрат та швидкостей при витіканні рідини з отворів резервуарів, насадок та трубок. Рух рідин чи газу через насипний шар. Псевдозрідження. Література [1-8].	2
14	Лекція 14. Гідравлічні ефекти. Кавітація. Література [1-8].	2
	Всього годин	28

Практичні заняття

У системі професійної підготовки студентів по дисципліні «Основи реології та гідродинаміка суцільного середовища», практичні заняття займають 50 % 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 розрахунку ферментаційного обладнання;
- ознайомити студентів з сучасними методиками розрахунків ферментаційного обладнання;
- навчити студентів прийомам вирішення практичних завдань, сприяти оволодінню навичками та вміннями виконання розрахунку за стандартними методиками;
- навчити їх працювати з науковою та довідковою літературою і програмним забезпеченням для виконання розрахунків;
- допомогти студентам набути досвід проведення аналізу конструкцій апаратів, устаткування для реалізації механічних, гідромеханічних, тепло- та масообмінних процесів;
- формувати вміння вчитися самостійно, тобто опановувати методами, способами і прийомами самонавчання, саморозвитку і самоконтролю.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кіл-ть ауд. годин
1	Практична робота 1. Визначення основних фізичних властивостей рідин і газів. СРС. Виконання практичної роботи за індивідуальними завданнями.	2
2	Практична робота 2. Аналіз ламінарної та турбулентної течії рідин у трубопроводах. СРС. Виконання практичної роботи за індивідуальними завданнями.	2

3	Практична робота 3. Розрахунок гідравлічного опору трубопроводу чи апарату. СРС. Виконання практичної роботи за індивідуальними завданнями.	4
4	Практична робота 4. Розрахунок гідродинамічних параметрів для процесів перемішування у біореакторах та потужності яка при цьому витрачається. СРС. Виконання практичної роботи за індивідуальними завданнями.	4
5	Практична робота 5. Проектування систем для транспортування біологічних середовищ. СРС. Виконання розрахунку за індивідуальними завданнями.	4
6	Презентація і виступ із доповіддю по запропонованим темам дисципліни. СРС. Підготовка презентації та доповіді студентами за запропонованою темою	6
7	Захист практичних робіт. СРС. Написання контрольної роботи за індивідуальними завданнями.	2
8	МКР	2
	Всього годин	26

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота займає 50 % 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. Самостійна робота також передбачає підготовку до практичних занять, експрес контрольних робіт по матеріалам попередніх лекцій, до участі в обговоренні питань теми, самоконтроль набутих знань, опрацювання джерел із списку літератури. Самостійна робота студента включає підготовку до модульної контрольної роботи та заліку.

Перелік питань для підготовки до МКР надано у **Додатку А**.

Перелік питань для підготовки до заліку надано у **Додатку Б**.

Перелік тем для підготовки презентації з доповіддю у **Додатку В**.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
Розділ 1. Основи реології суцільного середовища в біотехнологічних процесах.		
1	Використання математичного і комп'ютерного моделювання для прогнозування поведінки рідких середовищ у біотехнологічних процесах. Література: [1-6]	16
Розділ 2. Реологія та гідродинаміка в біотехнологічних апаратах.		
2	Розрахунок напружень зсуву та швидкості зсуву у процесах біоконверсії. Розрахунок параметрів для транспортування рідин з високим вмістом твердих частинок. Моделювання турбулентних потоків у біореакторах для оптимізації процесів перемішування. Методи зниження енергетичних витрат у біотехнологічних системах за допомогою оптимізації реологічних параметрів. Оцінка ефективності аерації в біореакторах при різних параметрах газової дисперсії. Література: [1-6]	28

3	Підготовка до МКР	4
4	Підготовка до експрес контрольних робіт по матеріалам лекцій	6
5	Підготовка до захисту практичних робіт	4
6	Підготовка до виступу з презентацією	4
7	Підготовка до заліку	4
	Всього годин	66

Політика та контроль

1. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента).

Правила відвідування занять

Відвідування аудиторних занять є важливим компонентом для успішного засвоєння дисципліни, однак, відсутність на аудиторних заняттях не передбачає нарахування штрафних балів, оскільки фінальний рейтинговий бал студента формується виключно на основі оцінювання результатів навчання. Якщо студент з поважних причин був відсутній на лекційному чи практичному занятті він має самостійно опрацювати пройдений матеріал, а у випадку пропуску заняття із контрольними заходами, зобов'язаний домовитись із викладачем про його відпрацювання в резервний день.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Заохочувальні та штрафні бали в рамках навчальної дисципліни не передбачені.

Навчання іноземною мовою. У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англомовних джерел.

Політика дедлайнів та перескладань

Всі види робіт передбачені силабусом навчальної дисципліни мають виконуватись вчасно, у встановлені викладачем терміни для можливості отримання максимального балу.

Контрольні заходи (МКР) та експрес контрольні по матеріалам лекцій та завдання на практичних заняттях виконуються студентами за розкладом, у встановлений для групи час, (виключення – перенесення написання групою (або окремих студентів) в зв'язку з необхідним дотриманням безпекових умов або з попередженням викладача та офіційним підтвердженням причини відсутності студента на написанні разом з групою).

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

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>

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.

У випадку виявлення випадків академічної недоброчесності чи плагіату в індивідуальних видах робіт (презентації з доповіддю і практичних робіт) студент зобов'язаний переробити даний

вид робіт відповідно до власного варіанту завдання до моменту ліквідації академічної заборгованості (додаткова сесія).

У разі виявлення академічної недоброчесності під час виконання модульної контрольної роботи (МКР) – результати контрольного заходу не враховуються, повторне написання МКР передбачено за розкладом консультацій чи в інший узгоджений з викладачем час, однак, до початку ліквідації академічної заборгованості (додаткова сесія).

У разі виявлення академічної недоброчесності під час виконання залікової роботи студент усувається з заліку і може повторити спробу здачі семестрового контролю під час ліквідації академічної заборгованості (додаткова сесія).

При виконанні індивідуальних самостійних завдань (підготовки презентації з доповіддю і практичних робіт) не допускається використання в списку використаної літератури російськомовних джерел.

Політика академічної поведінки і етики

Студенти мають 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. Студенти мають бути толерантним, поважати думку оточуючих, заперечення формулювати в коректній формі, вести конструктивний діалог і 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>

2. 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.	Лекції	Практичні	СРС	МКР	Семестрова атестація
5	4	120	28	26	66	1	залік

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

- 1) Виконання експрес контрольної роботи по матеріалам лекцій – 35 балів;
- 2) Виконання та захист 5 завдань на практичних заняттях – 35 балів;
- 3) Презентація і виступ з доповіддю – 15 балів;
- 4) МКР – 15 балів;

Система рейтингових балів

1. Виконання експрес контрольної роботи по матеріалам лекцій.

Максимальна кількість балів за кожну контрольну – 5. Експрес контрольна робота містить 5 теоретичних питань, які оцінюються в 1 бал кожен. **Сумарно за 7 експрес контрольних робіт можливо отримати $7 \times 5 = 35$ балів ($R_{\text{лек}}$).**

Експрес контрольна робота проводиться по матеріалам двох пройдених лекцій і має на меті перевірку залишкових знань і поточну підготовку студентів.

Відповідь на кожне питання експрес контрольної роботи:

- «відмінно» – повна (не менше 90% потрібної інформації), правильна відповідь – 1 бал;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), в основному правильна із деякими неточностями – 0,75 балів;
- «задовільно» – не повна (не менше 60% потрібної інформації) та/або відповідь з деякими помилками – 0,5 балів;
- «незадовільно» – не вірна відповідь або відповідь відсутня – 0 балів.

Експрес контрольні роботи, як правило проводяться, на наступному тижні по матеріалам двох попередньо пройдених лекцій. Це вид контрольних не переписуються, тому дуже важливо відвідувати лекційні заняття на яких передбачається написання контрольного заходу (викладач про дати попереджатиме за тиждень). У випадку якщо студент із поважних причин пропустив даний захід, то в нього є можливість в кінці семестру написати експрес контрольну роботу, але в загальній кількості не більше двох.

2. Виконання і захист практичних робіт.

Максимальна кількість балів за кожне практичне завдання дорівнює - 7, з яких 4 бали за повне правильне і вчасне виконання практичного завдання і 3 бали за захист практичного завдання. Сумарно за 5 практичних занять можливо отримати $5 \times 7 = 35$ балів ($R_{\text{ПРАК}}$).

Виконання практичної роботи:

- «відмінно» – повне, правильне із можливими незначними неточностями, вчасне виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 4 бали;
- «добре» - повне, правильне із певними неточностями чи незначними помилками, вчасне виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 3-3,5 балів;
- «задовільно» - повне, але виконане із помилками практичне завдання та вчасне його виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 2-2,5 балів;
- «незадовільно» - не повне та/або виконання з грубими помилками чи невиконання практичного завдання під час самостійної роботи студента (СРС) – 0 балів.

Захист практичної роботи:

- «відмінно» – повна (не менше 90% потрібної інформації), правильна відповідь при захисті практичної роботи – 3 бали;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), в основному правильна із деякими неточностями при захисті практичної роботи – 2-2,5 балів;
- «задовільно» – не повна (не менше 60% потрібної інформації) та/або відповідь з помилками при захисті практичної роботи – 1,5 бали;
- «незадовільно» – не вірна відповідь при захисті практичної роботи – 0 балів.

Виконання кожного індивідуального практичного завдання, як правило, має дедлайн, який чітко зазначається в завданні розміщеному на платформі дистанційного навчання із використанням Google classroom.

У випадку, якщо практична робота надсилається на перевірку після встановленого дедлайну, то воно оцінюється на мінус 20% від максимального балу, тобто не більше ніж у 3,2 бали.

3. Презентація і виступ з доповіддю.

Максимальна кількість балів – 15 ($R_{\text{ВИСТ}}$). Даний вид контролю являє собою підготовку студентом презентації та виступу із доповіддю на запропонований перелік тем по дисципліні.

Критерії оцінювання презентації і доповіді:

- «відмінно» – інформативна, змістовна презентація і впевнено представлена доповідь із правильними відповідями на додаткові запитання – 15 балів;
- «добре» – змістовна презентація та на хорошому рівні представлена доповідь із можливими нюансами та в основному правильними відповідями на додаткові запитання – 10-14 балів;
- «задовільно» – не в повній мірі розкрито проблематика питання в презентації чи доповіді та/або відповідь з деякими помилками на додаткові запитання – 7-9 балів;
- «незадовільно» – не підготовлений виступ, із нерозкритою проблематикою питання – 0 балів.

4. Модульний контроль:

Кількість модульних контрольних робіт – 1. **Максимальна кількість балів - 15 балів ($R_{\text{МКР}}$).** Білет типової МКР складається з двох теоретичних питань і двох задач.

Максимальна кількість балів за теоретичне питання – 3,5 бали.

- «відмінно» – повна (не менше 90% потрібної інформації), правильна відповідь на теоретичне питання контрольної роботи – 3,5 бали;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), в основному правильна із деякими неточностями на теоретичне питання контрольної роботи – 2,5-3 бали;
- «задовільно» – не повна (не менше 60% потрібної інформації) та/або відповідь з помилками на теоретичне питання контрольної роботи – 1,5-2 бали;
- «незадовільно» – не вірна або відсутня відповідь на теоретичне питання контрольної роботи – 0 балів.

Максимальна кількість балів за виконання задачі – 4 балів.

- «відмінно» – повне, правильне із можливими незначними неточностями виконання задачі – 4 бали;
- «добре» - повне, правильне із певними неточностями чи незначними помилками виконання задачі – 3-3,5 бали;
- «задовільно» - повний, але виконаний із помилками або частково правильний розв'язок задачі – 2-2,5 бали;
- «незадовільно» - не вірне виконання чи невиконання задачі – 0 балів.

Під час виконання модульної контрольної роботи (МКР) необхідно дотримуватись правил академічної доброчесності, не допускається використання будь яких гаджетів, підручників, конспектів та інших джерел інформації. У разі невиконання цієї умови студент може бути відсторонений від МКР, без можливості виконати МКР іншим разом.

Календарний контроль.

Проводиться двічі на семестр, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Календарний контроль проводиться, як правило, на 7-8 та 14-15 тижнях кожного семестру навчання здобувачів, і реалізується шляхом визначення рівня відповідності поточних досягнень (рейтингу) здобувача встановленим і визначеним в РСО критеріям. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю з навчальної дисципліни є значення поточного рейтингу здобувача не менше, ніж 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю (викладачем доводиться до студентів перелік необхідних видів робіт для отримання атестації).

Семестровий контроль.

Залік. Перелік питань для підготовки до заліку надано у **Додатку Б**.

Умови допуску до семестрового контролю.

До заліку допускаються студенти, яким зараховано всі види робіт передбачених у розділі силабусу «Політика та контроль», пункт 2 «Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)», підпункти 2-4 та набрати не менше 30 балів.

У випадку, якщо певний вид робіт (практична робота, презентація з доповіддю, МКР) надсилається викладачу на перевірку пізніше ніж за 5 днів до встановленої дати заліку, то студент є недопущеним і автоматично відправляється на додаткову сесію, як той що не виконав обсяг робіт необхідний для допуску до заліку, передбачений цим силабусом.

Максимальна сума балів складає 100. Для отримання заліку з дисципліни «автоматом» потрібно виконати умови допуску до заліку (наведено вище) та мати рейтинг не менше 60 балів.

Розрахунок шкали ($R_{\text{сум}}$) рейтингу:

Максимальна сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_{\text{сум}} = R_{\text{лек}} + R_{\text{прак}} + R_{\text{вист}} + R_{\text{мкр}} = 35 + 35 + 15 + 15 = 100 \text{ балів.}$$

Для отримання студентом відповідних оцінок його рейтингова оцінка R_c переводиться згідно з таблицею:

Кількість балів $R_{\text{СУМ}} = R_{\text{ПРАК}} + R_{\text{ЛАБ}} + R_{\text{МКР}} + R_{\text{АК}}$	Традиційна 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

Студенти, які на момент залікового тижня (основна сесія) є допущеними, але мають рейтинг менше 60 балів (але не менше 30), а також ті, хто хоче підвищити оцінку, виконують залікову контрольну роботу. Студенти, які були недопущені мають виконати всі види робіт до моменту ліквідації академічної заборгованості (додаткова сесія) після чого вони виконують залікову контрольну роботу.

Залікова контрольна робота складається з чотирьох питань (R_1, R_2, R_3, R_4) різних розділів робочої програми з переліку, що наданий у методичних рекомендаціях до засвоєння дисципліни. Після написання залікової контрольної роботи, студент усно чи з використанням засобів відео зв'язку, в режимі реального часу, проходить співбесіду із викладачем по відповідям на завдання контрольної роботи.

Кожне завдання контрольної роботи максимально оцінюється у 25 балів відповідно до наступних критеріїв:

— «відмінно», повне виконання завдань контрольної роботи і правильні відповіді під час співбесіди (не менше 90% потрібної інформації) – 23-25 балів;

— «добре», достатньо повне виконання завдань контрольної роботи і переважно вірні відповіді з можливими неточностями під час співбесіди (не менше 75% потрібної інформації, з незначними неточностями) – 18,5-22 балів;

— «задовільно», неповне виконання завдань контрольної роботи та/або часткові або не точні відповіді під час співбесіди (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 15-18 балів;

— «незадовільно», не повне чи не вірне виконання завдань практичної роботи та/або незадовільні відповіді під час співбесіди (не відповідає вимогам на 15 балів) – 0 балів.

Максимальна сума балів за чотири завдання залікової контрольної роботи $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 25 + 25 + 25 + 25 = 100$ балів, які переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Кількість балів $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$	Традиційна 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

Під час виконання залікової контрольної роботи необхідно дотримуватись правил академічної доброчесності, не допускається використання будь яких гаджетів, підручників,

конспектів та інших джерел інформації. У разі невиконання цієї умови студент може бути відсторонений від виконання залікової контрольної роботи і буде направлений на перескладання.

При отриманні незадовільної оцінки під час основної сесії, студент має лише 2 спроби для перездачі у відповідності до графіку перескладання заборгованостей (додаткова сесія).

3. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

В умовах дистанційного або змішаного режиму проведення занять організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський», «Електронний кампус». Навчальний процес у такій формі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять з дотриманням безпекових умов.

У разі виникнення непереборних обставин чи інших форс-мажорних ситуацій та за відповідного розпорядження по університету/факультету в силабус можуть бути внесені зміни, про які будуть повідомлені всі здобувачі.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доцент Костик Сергій Ігорович

Ухвалено кафедрою біотехніки та інженерії (протокол № 12 від 11.06.2025 р.)

Погоджено Методичною комісією ФБТ (протокол № 6 від 30.06.2025 р.)

Питання, що виносяться на модульну контрольну роботу

Орієнтовний перелік питань, які будуть винесені на МКР можна ознайомитись в пункті 5 «Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)» таблиця з темами Лекцій».

Орієнтовний приклад завдання МКР

1. Охарактеризуйте основну відмінність між ламінарним, перехідним та турбулентним режимом руху рідини.
2. Поясніть важливість врахування рівня напружень зсуву під час перемішування культуральної рідини в біореакторі.
3. Теплоносії (культуральна рідина) з температурою 60 °C тече в прямокутному каналі $a=20$ мм, $b=10$ мм з витратою $G=0.12$ кг/с; $\rho=983$ кг/м³, $\mu=4.7 \times 10^{-4}$ Па·с; обчислити гідравлічний діаметр каналу, середню швидкість потоку, число Рейнольдса та встановити режим (ламінарний/перехідний/турбулентний).
4. Розрахунок гідравлічного опору змійовика: мідна труба $d_{\text{вн}}=12$ мм, довжина по осі $L=8$ м, шорсткість $\epsilon=0.0015$ мм, витрата $G=0.15$ кг/с; $\rho=990$ кг/м³, $\mu=5.0 \times 10^{-4}$ Па·с; кількість колін $N=14$, місцеві втрати $\zeta_{\text{коліна}}=0.9$. Визначити швидкість теплоносія, коефіцієнт тертя f (за Блазіусом), сумарний коефіцієнт втрат $\Sigma \zeta$ та втрати тиску Δp .

Повний перелік тем, які буде винесено на МКР, вимоги до її проведення буде окремо надано і роз'яснено студентам за тиждень до її проведення.

Питання, які виносяться на залік

Орієнтовний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Загальні принципи реології та гідродинаміки.
2. Визначення та характеристика реологічних властивостей рідин.
3. В'язкість, пружність та пластичність біологічних рідин.
4. Вимірювання в'язкості рідин та методи визначення реологічних параметрів.
5. Різниця між ньютонівськими та неньютонівськими рідинами.
6. Фактори, що впливають на в'язкість біологічних рідин.
7. Вплив температури на в'язкість рідин.
8. Критерій Рейнольдса та типи течії рідин.
9. Характеристики ламінарної та турбулентної течії.
10. Визначення умов переходу між ламінарною і турбулентною течією.
11. Число Рейнольдса та його роль у визначенні типу течії.
12. Моделювання течії рідин у біотехнологічних системах.
13. Розрахунок втрат тиску в трубопроводах для біологічних рідин.
14. Рівняння Дарсі-Вейсбаха для розрахунку втрат тиску.
15. Напруження зсуву та швидкість зсуву в рідині.
16. Реологічні параметри для процесів біоконверсії та виробництва біопродуктів.
17. Гідродинамічні параметри перемішування в біореакторах.
18. Параметри перемішування суспензій у біореакторах.
19. Фактори, що впливають на ефективність аерації в біореакторах.
20. Розрахунок газової дисперсії в біореакторі для оптимізації процесів культивування мікроорганізмів.
21. Оцінка ефективності газообміну в ферментаторах.
22. Рух ньютонівських і неньютонівських рідин у біотехнологічних апаратах.
23. Параметри транспортування біологічних середовищ в трубопроводах.
24. Вибір насосів для транспортування суспензій та рідин з високим вмістом твердої фази.
25. Оптимізація енергетичних витрат в біотехнологічних системах за допомогою реологічних та гідродинамічних коригувань.
26. Параметри газової дисперсії в процесах культивування мікроорганізмів.
27. Аналіз характеристик течії рідин у трубопроводах біотехнологічних систем.
28. Математичне моделювання поведінки текучих середовищ у біотехнологічних процесах.
29. Використання комп'ютерного моделювання для дослідження реологічних властивостей рідин.
30. Проектування біотехнологічних апаратів для роботи з неньютонівськими рідинами.
31. Зміни реологічних властивостей рідин при зберіганні або змішуванні.
32. Коефіцієнт турбулентності та його вплив на процеси змішування в біореакторах.
33. Контроль параметрів перемішування та аерації в біотехнологічних системах.
34. Реологічні властивості рідин у процесах біоконверсії біопродуктів.
35. Розрахунок та проектування систем транспортування біологічних середовищ у біотехнологічних установках.

Повний і остаточний перелік питань та тем, які буде винесено на залік, вимоги до його проведення буде окремо надано і роз'яснено студентам перед тижнем семестрового контролю.

Перелік тем для підготовки презентації з доповіддю.

1. Ефект Магнуса
2. Ефект Коанда
3. Ефект Бернуллі
4. Ефект Прандтля – Глоерта
5. Ефект Вентурі
6. Ефект Стокса
7. Ефект Тейлора-Куетта
8. Ефект Рейнольдса
9. Ефект Кармана
10. Ефект Марангоні
11. Ефект Релея-Тейлора
12. Ефект Кельвіна-Гельмгольца
13. Ефект Доплера в рідинах
14. Ефект кавітації. Сонолюмінісценція.
15. Ефект сонолюмінісценції.

Остаточний перелік тем, їх розподіл та вимоги до презентації, буде окремо надано і роз'яснено студентам перед вдачею завдання.