



ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

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	Нормативна
Форма навчання	Заочна
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити (120 годин) в т.ч. лекцій – 8 годин, практичні роботи – 6 годин, лабораторні роботи – 6 годин, СРС – 102 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 дисципліни / викладачів	Керівник дисципліни: к.т.н., доц. каф. БТ та І, Костик Сергій Ігорович, 044-204-94-51, kostyksergey@ukr.net Викладачі: ст. викл. каф. БТ та І, Остапенко Жанна Ігорівна, 044-204-94-51, zhanna.ost@gmail.com
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.

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.

Метою навчальної дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» є вивчення теоретичних закономірностей гідродинамічних, теплових, масообмінних процесів ферментації та обробки культуральних рідин, ознайомлення студентів з особливостями

конструкцій та методик розрахунку машин і апаратів для практичної реалізації вказаних процесів, устаткування для проведення перед ферментаційних, ферментаційних процесів, процесів концентрування, відділення цільових продуктів біосинтезу та очищення нативних розчинів, процесів сушіння.

Предметом навчальної дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» є теоретичні засади механічних, гідромеханічних, теплових та дифузійних процесів, які відбуваються та використовуються під час підготовки поживних середовищ, підготовки повітря, культивування біологічних агентів та при виділенні, очищенні біологічно активних речовин (БАР) і при отриманні мікробних мас, особливості конструкцій, принципи розрахунку, вибору та експлуатації основного устаткування біотехнологічних виробництв.

Освітній компонент «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» формує у студентів наступні компетентності:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК 1);
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК 5);
- Здатність використовувати знання з математики та фізики в обсязі, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми (ФК 1);
- Здатність здійснювати аналіз нормативної документації, необхідної для забезпечення інженерної діяльності в галузі біотехнології (ФК 3);
- Здатність використовувати методології проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення (ФК 8);
- Здатність обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для реалізації та контролю виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення (ФК 9);
- Здатність складати технологічні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення (ФК 10);
- Здатність складати апаратурні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення (ФК 11);
- Здатність аналізувати та проектувати виробництва біотехнологічної продукції харчового, фармацевтичного, парафармацевтичного та природоохоронного характеру на основі процесів мікробного синтезу (ФК 17).

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувачі вищої освіти мають продемонструвати такі результати навчання:

- Вміти застосовувати сучасні математичні методи для розв'язання практичних задач, пов'язаних з дослідженням і проектуванням біотехнологічних процесів. Використовувати знання фізики для аналізу біотехнологічних процесів (ПРН 01).
- 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 (ПРН 4);
- Базуючись на знаннях про закономірності механічних, гідромеханічних, тепло- та масообмінних процесів та основних конструкційних особливостях, вміти обирати відповідне устаткування в процесі проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення для забезпечення їх максимальної ефективності (ПРН 15);
- Базуючись на знаннях, одержаних під час практики на підприємствах та установах, вміти здійснювати проектний розрахунок технологічного обладнання (ПРН 16);

- Вміти складати матеріальний баланс на один цикл виробничого процесу, специфікацію обладнання та карту постадійного контролю з наведенням контрольних точок виробництва (ПРН 17);
 - 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 (ПРН 18);
 - Вміти аналізувати та проектувати спеціальні біотехнологічні виробництва із виготовлення продукції різного функціонального та галузевого призначення (ПРН 25).
- 2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою).**

Дисципліна **«Процеси і апарати 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 (*“Вища математика”, “Фізика”, “Фізична хімія”* тощо) і використовувати їх у майбутній професійній діяльності. Вказана дисципліна є одною з визначальних у підготовці майбутнього кваліфікованого біотехнолога: знання, одержані при вивченні цієї дисципліни, необхідні для виконання курсових і дипломних проектів.

3. Зміст навчальної дисципліни.

«Процеси і апарати біотехнологічних виробництв»

Розділ 1. Теплові явища та процеси в обладнанні біотехнологічних виробництв.

Тема 1. Класифікація основних технологічних процесів. Види теплообміну.

Тема 2. Конвективна тепловіддача. Теплообмін під час руху флюїда в каналах різної форми.

Тема 3. Теплопередача в теплообмінному обладнанні біотехнологічних виробництв.

Тема 4. Теплообмінне обладнання біотехнологічних виробництв.

Тема 5. Фазові переходи. Тепловий баланс.

Тема 6. Випарювання. Випарні апарати. Плівкові концентратори.

Розділ 2. Основи гідравліки. Переміщення рідин та газів. Гідравлічні машини і апарати біотехнологічних виробництв.

Тема 1. Гідростатика і гідродинаміка.

Тема 2. Гідравлічний опір. Гідравлічний розрахунок обладнання.

Тема 3. Гідравлічні машини і апарати біотехнологічних виробництв.

Розділ 3. Масообмінні процеси в обладнанні біотехнологічних виробництв.

Тема 1. Теорія масообмінних процесів.

Тема 2. Конвективна і молекулярна дифузія.

Базова література

1. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування [Текст]/Навч. посібник / Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков. – Львів: «Інтелект-Захід», 2008. – 736 с.

2. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв [Текст]. Ч.І. Ферментація: Навч. посібник / Ю. І. Сидоров, 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 [Текст]/ 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. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підручник/ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011.-Ч.1-416с.

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

6. Врагов А.П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних та газонафтопереробних виробництв: Навч. посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 284 с.

Додаткова

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

2. Ружинська Л.І. Проектування реакторів змішувачів біотехнологічних та фармацевтичних виробництв. Навч. посібник/Укладачі: Л.І. Ружинська, І.А. Буртна, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 130

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>
3. Устаткування виробництв галузі. Курсовий проєкт [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Біотехнології» спец. 162 Біотехнології та біоінженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Калініна М. Ф., Костик С. І., Фесенко С. В., Остапенко Ж. І. – Електрон. текст. дані (1 файл: 29,81 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 138 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73708>

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента).

Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з дисципліни **«Процеси і апарати 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 студентів необхідного інтересу та надання напрямку для самостійної роботи;
- відображення методичної обробки матеріалу (виділення головних положень, висновків, рекомендацій, чітке 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)	Годин
1	Лекція 1. Зміст і завдання дисципліни. Класифікація основних технологічних процесів. Основні закони, яким підпорядковані технологічні процеси. Загальні принципи аналізу та розрахунку процесів і апаратів. Література: [1-3]	1
2	Лекція 2. Гідродинаміка. Основні поняття та визначення. Характеристики руху рідин. Рівняння нерозривності потоку. Диференціальні рівняння руху Ейлера та Нав'є-Стокса. Рівняння Бернуллі. Література: [5]	1
3	Лекція 3. Основи теплопередачі. Методи поширення тепла в просторі. Теплові баланси. Передача тепла теплопровідністю, тепловим випромінюванням. Література: [1]	1
4	Лекція 4. Методика розрахунку коефіцієнтів конвективної тепловіддачі. Типове теплообмінне обладнання. Література: [1,5]	1
5	Лекція 5. Методика розрахунку гідравлічного опору. Гідравлічний розрахунок теплообмінників. Транспорт рідин і газів. Класифікація насосів і компресорів. Література: [1,5]	1
6	Лекція 6. Основні конструкції теплообмінного і гідромеханічного обладнання біотехнологічних виробництв. Література: [1,5]	1
7	Лекція 7. Масообмінні процеси. Основні закони дифузії (молекулярна, конвективна). Література: [6]	1
8	Лекція 8. Основні конструкції масообмінних апаратів біотехнологічних виробництв. Література: [6]	1
	Всього годин	8

Практичні заняття

У системі професійної підготовки студентів по дисципліні «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв», 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 процесів і апаратів біотехнологічних виробництв,.
- ознайомити студентів з сучасними методиками розрахунків процесів, апаратів та устаткування біотехнологічних виробництв;
- 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;
- навчити студентів виконувати матеріальні, теплові конструктивні розрахунки 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)	Годин
1	Практична робота 1. Теплопровідність одношарової та багатошарової стінки. Література: [1-5] СРС. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням. Література: [1-5]	0.5
2	Практична робота 2. Розрахунок коефіцієнта конвективної тепловіддачі при русі теплоносія в каналах різної геометрії. Література: [1-5] СРС. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням. Література: [1-5]	0.5
3	Практична робота 3. Теплопередача в умовах вимушеної і вільної конвекції. Розрахунок секція теплообмінника типу «труба в трубі». Література: [1-5] СРС. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням. Література: [1-5]	1
4	Практична робота 4. Теплопередача при поперечному обтіканні пучка труб. Розрахунок кожухотрубного теплообмінника. Література: [1-5] СРС. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням. Література: [1-5]	1
5	Практична робота 5. Теплопередача при омиванні теплоносієм гофрованої пластини. Розрахунок пластинчастого теплообмінника. Література: [1-5] СРС. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням. Література: [1-5]	1

6	Практична робота 6. Розрахунок гідравлічного опору теплообмінника. Література: [1-5] СРС. Виконання розрахунку за індивідуальним завданням. Література: [1-5]	1
7	Практична робота 7. Теплопередача при зміні агрегатного стану. Теплопередача при зміні агрегатного стану. Розрахунок вакуум-випарного апарату з природною циркуляцією. Література: [1-5]	1
	Всього годин	6

Лабораторні заняття

У системі професійної підготовки студентів з дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» 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 апаратів, устаткування для реалізації механічних, гідромеханічних, тепло- та масо обмінних процесів;
- допомогти студентам набути досвід проведення експериментальних досліджень роботи апаратів, устаткування для реалізації механічних, гідромеханічних, тепло- та масо обмінних процесів;
- допомогти студентам набути досвід математичної обробки експериментальних даних, проведення їх аналізу та узагальнення результатів.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Годин
1	Лабораторна робота 1. Дослідження процесу теплообміну в теплообмінних апаратах типу «труба в трубі». СРС. Обробка результатів дослідження. Виконання розрахунків. Побудова графічних залежностей. Оформлення протоколу. Література [1-4]	2
2	Лабораторна робота 2. Дослідження процесу кипіння і конденсації насиченої водяної пари на вертикальній поверхні. СРС. Обробка результатів дослідження. Виконання розрахунків. Побудова графічних залежностей. Оформлення протоколу. Література [1-4]	2
3	Лабораторна робота 3. Дослідження процесу випарювання розчину. СРС. Обробка результатів дослідження. Виконання розрахунків. Побудова графічних залежностей. Оформлення протоколу. Література [1-4]	2
	Всього годин	6

6. Самостійна робота студента.

Самостійна робота займає 80 % 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 машин для переміщення рідин і газів (насосів,

компресорів, вентиляторів), теплообмінних апаратів, сушарок, машин і апаратів для подрібнювання твердих матеріалів, розділення неоднорідних систем, перемішування, абсорбції, адсорбції, десорбції, ректифікації, кристалізації, розчинення, екстракції й мембранного розділення рідких і газоподібних систем і оформлення журналу конструкцій.

При самостійному вивченні студентами конструкцій машин, апаратів устаткування біотехнологічних виробництв, необхідно проаналізувати фактори, що впливають на протікання процесів, рівень впливу на процес конструктивних особливостей апаратів, 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, аналізу та структуруванні, науково технічної інформації.

Самостійна робота передбачає підготовку до лабораторних та практичних занять і 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 завдань до виконання альбому конструкцій у **Додатку В**.

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

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Годин
1.	Основи теплообіну. Методи поширення тепла в просторі. Теплові баланси. Передача тепла теплопровідністю, тепловим випромінюванням. Основи раціональної побудови апаратів. Методи інтенсифікації процесів біотехнологічних виробництв. Технології, що застосовуються в біотехнологічних виробництвах. Література: [1-5]	3
2	Основні поняття теплообміну. Способи перенесення теплоти. Температурне поле. Температурний градієнт. Закон Фур'є. Диференціальне рівняння теплопровідності. Умови однозначності. Механізми передачі теплоти в металах, діелектриках, напівпровідниках, рідинах, газах. Література: [1-5]	3
3.	Окремі задачі стаціонарної теплопровідності. Теплопровідність крізь плоску і циліндричну стінки при граничних умовах I-го. Теплопередача через плоску і циліндричну стінки при граничних умовах III-го роду, коефіцієнт теплопередачі. Критичний діаметр теплової ізоляції. Умови однозначності для стаціонарних і нестаціонарних режимів теплопровідності. Література: [1-5]	3
4.	Конвективний теплообмін в умовах вимушеної та вільної конвекції. Критерії теплової подібності. Основні поняття і визначення. Рівняння Ньютона-Ріхмана. Безрозмірний опис фізичних явищ. Подібні явища. Окремі задачі конвективного теплообміну. Теплообмін при вільній конвекції в необмеженому і обмеженому просторі. Тепловіддача при вимушеній течії в трубах. Критерії і числа теплової і гідродинамічної подібності. Література: [1-5]	3
5.	Теплопередача через плоску і циліндричну стінки при граничних умовах III-го роду, коефіцієнт теплопередачі. Методика розрахунку задач	3

	конвективного теплообміну. Складний і нестационарний теплообмін. Література: [1-5]	
6.	Умови, теореми подібності. Тепловіддача при поперечному обтіканні одиночної круглої труби. Тепловіддача при поперечному обтіканні пучка труб шахового і коридорного розташування. Тепловіддача при русі теплоносія в каналах складної геометрії [1-5].	3
7.	Фазові переходи. Потрійна точка води. Конвективний теплообмін при зміні агрегатного стану. Теплообмін при кипінні та конденсації. Рівняння для обчислення тепловіддачі при кипінні рідини та конденсації пари. Вплив різних факторів на процес теплообміну при кипінні. Кризи кипіння. Література: [1-5]	3
8.	Нагрівання. Способи нагрівання, гріючі агенти. Охолоджувальні агенти. Способи охолодження та конденсації. Особливості конструкції та розрахунок теплообмінних апаратів. Схеми руху теплоносіїв. Способи нагрівання газових теплоносіїв. Література: [1-5]	3
9.	Тепловіддача при русі теплоносія в каналі утвореному гофрованими пластинами. Методика розрахунку пластинчастих теплообмінних апаратів. Секціонування пластинчастих теплообмінників. Література: [1-5]	3
10.	Класифікація теплообмінних апаратів. Основні конструкції трубчастих та пластинчастих теплообмінників. Змійовикові, зрошувальні та спіральні теплообмінні апарати. Література: [1-5]	3
11.	Випарювання. Однокорпусні та багатокорпусні випарні установки. Матеріальні та теплові баланси. Плівкові та роторні випарні установки. Розрахунок випарних установок. Вакуум-випарні апарати. Література: [1-5]	3
12.	Гідростатика. Основні поняття та визначення. Фізичні властивості рідини. Розподіл тиску по об'єму рідини. Закон Паскаля. Диференційні рівняння рівноваги Ейлера. Основне рівняння гідростатики. СРС. Практичне застосування основного рівняння гідростатики. Література: [1-5]	3
13.	Диференційні рівняння руху Ейлера та Нав'є-Стокса. Рівняння Бернуллі. Практичне застосування рівняння Бернуллі. Визначення витрат рідини і середньої швидкості в круглій трубі. Формула Пуазейля. Література: [1-5]	3
14.	Гідродинамічна подібність. Теореми подібності. Рух тіл в рідині. Ламінарний і турбулентний рух. Структура потоку. Товщина в'язкого підшару. Втрати напору по довжині. Гідравлічна шорсткість труб. Гідравлічний удар в трубах. Рух рідини через зернисті та пористі шари. Гідродинаміка киплячих зернистих шарів. Література: [5]	3
15.	Основні конструкції насосів і компресорів. Гідравлічні явища. Кавітація. Особливості гідравлічного розрахунку трубопроводів для транспортування рідин. Література: [1-5]	3
16.	Закон Фіка. Закон Грема. Закон Генрі-Дальтона. Способи інтенсифікації масообміну. Література: [6]	3
17.	Масовіддача і масопередача в системі газ-рідина та рідина-рідина. Рівновага при масопередачі. Швидкість масопередачі. Рушійна сила	3

	<i>процесів масопереносу. Методика розрахунку коефіцієнтів конвективної масовіддачі. Література: [6]</i>	
18.	<i>Види масообмінних процесів. Сорбційні процеси. Перегонка (дистиляція), ректифікація. Екстракція. Розчинення. Кристалізація. СРС. Йонобмін. Зневоднення. Література: [6]</i>	3
19.	<i>Виконання модульної контрольної роботи МКР</i>	15
20.	<i>Виконання і підготовка до захисту практичних робіт</i>	10
21.	<i>Виконання і підготовка до захисту лабораторних робіт</i>	7
22.	<i>Виконання і підготовка до захисту альбому конструкцій</i>	6
23.	<i>Підготовка до заліку</i>	8
	<i>Всього годин</i>	100

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 лабораторного заняття чи 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 та завдання на практичних і лабораторних 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 (звітів з лабораторних і практичних робіт та альбому конструкцій) 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 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 (звітів з лабораторних і практичних робіт та альбому конструкцій) 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	Лаб. роб.	СРС	МКР	Семестрова атестація
5	4	120	6	6	6	102	1	залік

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

- 1) Виконання та захист 7-ми завдань на практичних заняттях – 28 балів;
- 2) Виконання та захист 3-х лабораторних робіт – 16 балів;
- 3) МКР – 10 балів;
- 4) Виконання альбому конструкцій апаратів – 6 балів.

Система рейтингових балів

1. Виконання і захист практичних робіт.

Максимальна кількість балів за кожне практичне завдання дорівнює - 4, з яких 3 бали за повне правильне і вчасне виконання практичного завдання і 1 бал за захист практичного завдання. **Сумарно за 7 практичних занять можливо отримати $7 \times 4 = 28$ балів ($R_{\text{ПРАК}}$).**

Виконання практичної роботи:

- «відмінно» – повне, правильне із можливими незначними неточностями, вчасне виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 3 бали;

- «добре» - повне, правильне із певними неточностями чи незначними помилками, вчасне виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 2-2,5 бали;

- «задовільно» - повне, але виконане із помилками практичне завдання та вчасне його виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 1,5 бали;

- «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 – 1 бал;

- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), в основному правильна із деякими неточностями при захисті практичної роботи – 0,75 балів;

- «задовільно» – не повна (не менше 60% потрібної інформації) та/або відповідь з помилками при захисті практичної роботи – 0,5 балів;

- «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.

2. Виконання і захист лабораторних робіт.

Кількість лабораторних робіт – 3. **Максимальна кількість балів на всіх лабораторних заняттях – 16 балів (R_{ЛАБ}).** **Лабораторні роботи №1 і №3 оцінюються по 4 балів, а лабораторна робота №2 – 8 балів** (бали подвоюються внаслідок складності і об'єму проведених розрахунків в даній роботі).

Оформлення протоколу лабораторної роботи та своєчасна обробка результатів експерименту оцінюється:

- «відмінно» – повне, правильне із можливими незначними неточностями, вчасне виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 2 бали;

- «добре» - повне, правильне із певними неточностями чи незначними помилками, вчасне виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 1,5 бали;

- «задовільно» - повне, але виконане із помилками лабораторне завдання та вчасне його виконання під час самостійної роботи студента (СРС) – 1 бал;

- «незадовільно» - не повне та/або виконання з грубими помилками чи невиконання лабораторного завдання під час самостійної роботи студента (СРС) – 0 балів.

Своєчасний успішний захист лабораторної роботи:

- «відмінно» – повна (не менше 90% потрібної інформації), правильна відповідь при захисті лабораторної роботи – 2 бали;

- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), в основному правильна із деякими неточностями при захисті практичної роботи – 1,5 бали;

- «задовільно» – не повна (не менше 60% потрібної інформації) та/або відповідь з помилками при захисті практичної роботи – 1 бал;

- «незадовільно» – не вірна відповідь при захисті практичної роботи – 0 балів.

Виконання кожної лабораторної роботи, як правило, має дедлайн, який чітко зазначається в завданні розміщеному на платформі дистанційного навчання із використанням Google classroom.

У випадку, якщо лабораторна робота надсилається на перевірку після встановленого дедлайну, то вона оцінюється на мінус 20% від максимального балу, тобто для лабораторних робіт №1 і №3 - не більше ніж у 3,2 бали, а для лабораторної роботи №2 – не більше ніж у 6,4 балів.

3. Модульний контроль:

Кількість модульних контрольних робіт – 1. **Максимальна кількість балів - 10 балів ($R_{МКР}$).**

Білет типової МКР складається з двох теоретичних питань і двох задач.

Максимальна кількість балів за теоретичне питання – 2 бали.

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

Максимальна кількість балів за виконання задачі – 3 балів.

- «відмінно» – повне, правильне із можливими незначними неточностями виконання задачі – 3 бали;
- «добре» - повне, правильне із певними неточностями чи незначними помилками виконання задачі – 2-2,5 балів;
- «задовільно» - повний, але виконаний із помилками або частково правильний розв'язок задачі – 1,5 бали;
- «незадовільно» - не вірне виконання чи невиконання задачі – 0 балів.

Виконання МКР, як правило, має дедлайн, який чітко зазначається в завданні розміщеному на платформі дистанційного навчання із використанням Google classroom. У випадку, якщо МКР надсилається на перевірку після встановленого дедлайну, то вона оцінюється на мінус 20% від максимального балу, тобто не більше ніж у 8 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.

4. Альбом конструкцій.

Максимальна кількість балів - 6 балів ($R_{АК}$).

Виконання альбому конструкцій:

- «відмінно» - в повному обсязі (всі конструкції), вчасно виконані всі вимоги до альбому конструкцій – 6 балів;
- «добре» – в повному обсязі (всі конструкції), вчасно виконані майже всі вимоги до альбому конструкцій, або є несуттєві помилки – 4 - 5 балів;
- «задовільно» - в повному обсязі (всі конструкції), але є недоліки щодо виконання вимог до альбому конструкцій і суттєві помилки (не менше 75% правильно) – 3 бали;
- «незадовільно» - не відповідає вимогам до «задовільно» – 0 балів.

Виконання альбому конструкцій, як правило, має дедлайн не більше 30 календарних днів з моменту видачі викладачем завдання, дедлайн чітко зазначається в завданні розміщеному на платформі дистанційного навчання із використанням Google classroom.

У випадку, якщо альбом конструкцій надсилається на перевірку після встановленого дедлайну, то він оцінюється на мінус 20% від максимального балу, тобто не більше ніж у 4,8 балів.

Семестровий контроль.

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

Умови допуску до семестрового контролю.

До заліку допускаються студенти, які виконали всі види робіт передбачених у розділі силабусу «Політика та контроль», пункт 2 «Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)», підпункти 1-4 та мають рейтинг не менше 30 балів.

У випадку, якщо певний вид робіт (практична робота, лабораторна робота, альбом конструкцій, 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.

Студенти, які були недопущені мають виконати всі види робіт до моменту ліквідації академічної заборгованості (додаткова сесія) після чого вони виконують залікову контрольну роботу.

Максимальна сума балів, яку може набрати студент за семестр виконуючи всі види робіт передбачені PCO складає 60.

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

Максимальна сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_{\text{СЕМ}} = R_{\text{ПРАК}} + R_{\text{ЛАБ}} + R_{\text{МКР}} + R_{\text{АК}} = 28 + 16 + 10 + 6 = 60 \text{ балів.}$$

На заліку всі студенти виконують контрольну роботу, що 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 10 балів відповідно до наступних критеріїв:

— «відмінно», повне виконання завдань контрольної роботи і правильні відповіді під час співбесіди (не менше 90% потрібної інформації) – 9-10 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) – 7- 8 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) – 5 - 6 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 $R_{\text{ЗАЛ}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 10 + 10 + 10 + 10 = 40 \text{ балів.}$

Після складання балів отриманих протягом семестру і на заліку $R = R_{\text{СЕМ}} + R_{\text{ЗАЛ}}$, вони переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Кількість балів $R = R_{\text{СЕМ}} + R_{\text{ЗАЛ}}$	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 основний закон теплопередачі.*
- 2. Обґрунтуйте основні відмінності між молекулярною і конвективною дифузією.*
- 3. Визначити середню різницю температур теплоносіїв, при наступних умовах: Об'ємні витрати теплоносіїв: $V_1=0,1 \text{ м}^3/\text{с}$; $V_2=50 \text{ л/с}$. Густини теплоносіїв: $\rho_1=1000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2=1500 \text{ кг/м}^3$. Швидкості теплоносіїв: $w_1=0,1 \text{ м/с}$; $w_2=1 \text{ м/с}$. Температури теплоносіїв: $t_{1\text{вх}}=20 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{1\text{вих}}=40 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{2\text{вх}}=95 \text{ }^\circ\text{C}$. Питомі теплоємності теплоносіїв: $c_1=4000 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$; $c_2=2000 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$.*
- 4. Визначити питомі втрати в оточуюче середовище з поверхні апарата та кількість енергії, яку буде втрачено за час t з площі поверхні F при наступних умовах: коефіцієнти тепловіддачі: $\alpha_1=100 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$; $\alpha_2=10 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$, термічний опір: $R=1 \text{ (м}^2 \cdot \text{K)/кВт}$, середні температури: $t_1=40 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_2=20 \text{ }^\circ\text{C}$, час: $t=5 \text{ хв}$, площа поверхні теплообміну: $F=2 \text{ м}^2$.*

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

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.

Вимоги та перелік завдань для виконання альбому конструкцій.

Відповідно до наведеного переліку необхідно:

1. Виконати від руки схему (ескіз) конструкції і позначити позиціями основні робочі вузли і складові частини.
2. Зробити короткий опис (від руки) з якого буде зрозуміло межі використання даного типу обладнання та принцип його дії.
3. Окремо зазначити основні переваги та недоліки обраної конструкції.
4. Необхідна кількість конструкцій – 12 (5 – теплообмінники, 5 – насоси, 2 – випарні апарати).

Перелік конструкцій теплообмінників:

Типу «труба в трубі». Кожухотрубний жорсткої конструкції. Кожухотрубний із лінзовим компенсатором. Кожухотрубний із розширником на кожусі. Кожухотрубний із плаваючою головою. Кожухотрубний із U-подібними трубами. Кожухотрубні одно і багатогодові. Теплообмінники пластинчасті нерозбірні. Теплообмінники пластинчасті розбірні. Спиральний теплообмінник. Зрошувальний теплообмінник. Графітовий теплообмінник.

Перелік конструкцій насосів:

Поршневий насос. Відцентровий насос. Перестальтичний насос. Струменевий насос. Вихровий насос. Ейрліфтний насос. Шестерний насос із зовнішнім зачепленням. Мембранний насос. Флюгерний (пластинчастий) насос. Шестерний насос із зовнішнім зачепленням. Монтежю насос. Кулачковий насос. Шнековий насос. Сифон. Спиральні насоси. Крильчатий насос. Синусний насос. Гвинтовий насос.

Перелік випарних апаратів:

Однокорпусні випарні апарати. Багатокорпусні випарні апарати. Випарні апарати з природною та вимушеною циркуляцією. Роторні випарні апарати. Плівкові випарні апарати.

Остаточний перелік конструкцій апаратів, буде окремо надано і роз'яснено студентам перед здачею завдання.