



## «Процеси та апарати хімічних виробництв 2. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси» Силабус кредитного модуля

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	16 – Хімічна та біоінженерія
Спеціальність	161 – Хімічні технології та інженерія
Освітні програми	«Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів», «Хімічні технології неорганічних речовин та водочищення», «Хімічні технології органічних речовин»; «Хімічні технології косметичних засобів та харчових добавок»
Статус освітнього компонента	нормативний
Обсяг дисципліни	165 годин/ 5,5 кредитів ЕКТС
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Форма навчання	очна (денна)
Розклад занять	1 лекція і 1 лабораторне заняття на тиждень
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен
Мова викладання	українська
Інформація про керівника курсу / викладачі	к.т.н., доцент, Семінський Олександр Олегович, <a href="mailto:forstd@ukr.net">forstd@ukr.net</a> , @mahnv_kpi
Розміщення курсу	<a href="http://ci.kpi.ua">http://ci.kpi.ua</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Кредитний модуль «Процеси та апарати хімічних виробництв 2. - Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси» викладається спільно здобувачам вищої освіти (далі – здобувачі) зазначених у реквізитах цієї освітньої програми на хіміко-технологічному факультеті.

**Мета кредитного модуля** полягає в оволодінні базовими знаннями щодо механічних, гідромеханічних і масообмінних процесів хімічних виробництв та їх проведення у промисловому обладнанні.

Відповідно до стандарту вищої освіти, кредитний модуль формує наступні **компетентності**:

- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності у частині механічних, гідромеханічних і масообмінних процесів та обладнання хімічних виробництв;
- здатність застосовувати знання щодо фізико-хімічних особливостей механічних, гідромеханічних і масообмінних процесів, конструкцій і застосування обладнання, визначення режимних параметрів та прийняття технічних рішень у практичних ситуаціях;

- здатність застосовувати типові аналітичні методи, кількісні методи математики, фізики, інженерних наук, а також комп'ютерні програмні засоби для ефективного розв'язування завдань хімічної інженерії;
- здатність використовувати сучасні матеріали, технології і конструкції апаратів в хімічній інженерії.

Зазначені компетентності розкриваються у **програмних результатах навчання**, до яких належать:

- вміння коректно використовувати у професійній діяльності термінологію та основні поняття хімії, хімічних технологій, процесів і обладнання виробництв хімічних речовин та матеріалів на їх основі;
- знання і розуміння механізмів і кінетики механічних, гідромеханічних і масообмінних процесів і вміння ефективно використовувати їх при проектуванні і вдосконаленні технологічних процесів та апаратів хімічної промисловості;
- вміння використовувати сучасні обчислювальну техніку, спеціалізоване програмне забезпечення та інформаційні технології для розв'язання складних задач і практичних проблем у галузі хімічної інженерії, зокрема, для розрахунків механічних, гідромеханічних і масообмінних процесів хімічних виробництв і відповідного обладнання;
- вміння використовувати знання механічних, гідромеханічних і масообмінних процесів і відповідного обладнання для забезпечення безпеки персоналу та навколишнього середовища під час професійної діяльності у сфері хімічної інженерії.

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

Кредитний модуль викладається на базі дисциплін «Фізика» і «Загальна хімічна технологія», а також кредитного модуля «Процеси та апарати хімічних виробництв 1. - Теплові процеси», взаємодоповнює дисципліни «Фізична хімія» і хімічна кінетика та поверхневі явища», забезпечує освітні компоненти «Переддипломна практика» і «Дипломне проектування».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

**Тема 1.** Механічні процеси.

**Тема 2.** Гідромеханічні процеси.

**Тема 3.** Масообмінні процеси.

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

### **Базова література:**

1. Процеси та обладнання хімічної технології / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок, В.Л. Ракицький, Г.Л.Рябцев. К.: НТУУ «КПІ», 2011. – [Ч. 1. – 300 с.; Ч. 2.-416 с.]
2. Врагов А.П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: навчальний посібник для студ. вищих навч. закладів / А.П. Врагов. - Суми : Університетська книга, 2016. - 284 с.
3. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси: лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Я.М. Корнієнко, А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,81 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 217 с.

4. Процеси та апарати хімічних технологій : у 5 ч. : [навч. посіб. для сту. вищих навч. закл., які навч. за напрям. "Хімічна технологія та інженерія" та "Інженерна механіка"] / Мін-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львівська політехніка" ; за ред. Я.М. Ханика. - Львів : Львівська політехніка, 2010.

5. Процеси та апарати хімічної технології : підручник : у 2-х частинах : пер. з рос. / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО [та ін.] ; за ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО ; Мін-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т "Харківський політехн. ун-т". - Харків : НТУ "ХПІ", 2007.

#### **Додаткова література:**

1. Perry's Chemical Engineers' Handbook / Editor-in-Chief D.W. Green. - McGraw-Hill Education, 2019. – 2274 p.

2. Field R. Chemical Engineering: Introductory Aspects / R. Field. – Macmillan Publishers Limited, 1988. – 180 с.

3. Cheremisinoff N. Handbook of Chemical Process Equipment / N. Cheremisinoff, Butterworth-Heinemann, 2000. – 535 p.

4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. — М.: Альянс, 2004. — 751 с.

5. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах / Н.И. Гельперин. — М.: Химия, 1981. — 812 с.

6. Кафаров В.В. Основы массопередачи / В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1979. – 429 с.

7. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987. – 496 с.

8. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.

9. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

10. Процеси та апарати хімічних виробництв. Розділ: Устаткування для подрібнювання і класифікації матеріалів [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання курсових проектів по курсу для студентів за напрямом підготовки 6.051301 «Хімічна технологія», спеціальностей «Хімічні технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів», «Хімічні технології переробки полімерних та композиційних матеріалів» / НТУУ «КПІ» ; уклад. О.М. Тимонін, І.В. Коваленко, В.В. Малиновський. – Електронні текстові дані (1 файл: 27,4 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 63 с.

### **Навчальний контент**

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

##### **Календарно-тематичний план**

<i>Тиждень</i>	<i>Зміст навчальної роботи</i>	<i>СРС (93 година за навчальним планом)</i>
<b>Тема 1. Механічні процеси.</b>		
1	<b>Лекція.</b> Вступна частина. Суть і застосування механічних процесів. Основи подрібнення.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій подрібнювального обладнання.

<i>Тиждень</i>	<i>Зміст навчальної роботи</i>	<i>СРС (93 година за навчальним планом)</i>
	<b>Лабораторне заняття.</b> Вступне заняття. Ознайомлення з правилами техніки безпеки. Ознайомлення з лабораторним обладнанням.	Одержання та ознайомлення з рекомендованою літературою.
2	<b>Лекція 2.</b> Оцінка результатів подрібнення. Представлення дисперсних складів і підходи до їх аналізу. Кінетика подрібнення.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій подрібнювального обладнання.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 1: дослідження роботи шокової дробарки (дослідна частина).	Підготовка до лабораторної роботи. Оформлення протоколу.
3	<b>Лекція.</b> Енергетичні гіпотези подрібнення і оцінка витрат енергії на проведення процесу. Цикли подрібнення.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій подрібнювального обладнання.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 1: дослідження роботи шокової дробарки (аналітична частина).	Проведення розрахунків, узагальнення одержаних результатів, формулювання висновків за результатами роботи.
4	<b>Лекція.</b> Основи механічного розділення дисперсних матеріалів. Грохочення та його види. Матеріальний баланс, ефективність та кінетика процесу.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій грохотів і класификаторів.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 2: дослідження кінетики осадження (дослідна частина).	Підготовка до лабораторної роботи. Оформлення протоколу.
<b>Тема 2.</b> Гідромеханічні процеси.		
5	<b>Лекція.</b> Вступ до гідромеханічних процесів. Основні бінарні системи та їх особливості. Гідродинамічна подібність. Базові та похідні критерії гідродинамічної подібності.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 2: дослідження кінетики осадження (аналітична частина).	Проведення розрахунків, узагальнення одержаних результатів, формулювання висновків за результатами роботи.
6	<b>Лекція.</b> Розділення неоднорідних систем під дією сили тяжіння: фізичні основи процесу, виведення рівняння осадження у диференціальному та інваріантному виглядах, аналіз параметрів процесу і визначення його швидкості, підходи до вибору обладнання.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій осаджувального обладнання.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 3: Дослідження гідродинаміки псевдозрідженого шару (дослідна частина).	Підготовка до лабораторної роботи. Оформлення протоколу.

Тиждень	Зміст навчальної роботи	СРС (93 година за навчальним планом)
7	<b>Лекція.</b> Розділення під дією перепаду тиску: базові відомості про фільтрування, швидкість і кінетика фільтрування, рівняння процесу та його частинні випадки.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій фільтрувального обладнання.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 3: Дослідження гідродинаміки псевдозрідженого шару (аналітична частина).	Проведення розрахунків, узагальнення одержаних результатів, формулювання висновків за результатами роботи.
8	<b>Лекція.</b> Розділення під дією відцентрової сили-1. Розділення у циклонах: особливості процесу і конструкції циклонів, оцінка ефективності розділення, рівняння розділення під дією відцентрової сили і його застосування.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій циклонів.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 4. Дослідження роботи фільтрувальної центрифуги (дослідна частина).	Підготовка до лабораторної роботи. Оформлення протоколу.
9	<b>Лекція.</b> Розділення під дією відцентрової сили-2. Розділення у центрифугах: особливості процесу і конструкцій центрифуг та їх застосування, визначення часу осадження, продуктивності та енерговитрат на проведення процесу.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій центрифуг.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 4. Дослідження роботи фільтрувальної центрифуги (аналітична частина).	Проведення розрахунків, узагальнення одержаних результатів, формулювання висновків за результатами роботи.
10	<b>Лекція.</b> Основи псевдозрідження: суть процесу та його особливості, види псевдозріджених шарів і режими псевдозрідження відомості щодо практичного застосування, криві псевдозрідження і аналіз процесу, особливості розрахунків.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій апаратів для проведення псевдозрідження та газорозподільних пристроїв.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 5. Дослідження перемішування рідин (дослідна частина).	Підготовка до лабораторної роботи. Оформлення протоколу.
11	<b>Лекція.</b> Перемішування: суть процесу, методи перемішування; механічне перемішування (гідродинаміка, особливості конструкцій та роботи швидко- і тихохідних пристроїв, область їх застосування); рівняння перемішування та енерговитрати на проведення процесу.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій апаратів для проведення перемішування та механічних перемішувальних пристроїв.

Тиждень	Зміст навчальної роботи	СРС (93 година за навчальним планом)
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 5. Дослідження перемішування рідин (аналітична частина).	Проведення розрахунків, узагальнення одержаних результатів, формулювання висновків за результатами роботи.
12	<b>Лекція.</b> Спеціальні способи перемішування: барботаже, циркуляційне, з використанням сферичних змішувачів; оцінка інтенсивності та ефективності перемішування.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій обладнання для проведення барботажного і циркуляційного перемішування, статичних змішувачів.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 6. Дослідження гідродинаміки насадкової колони (дослідна частина).	Підготовка до лабораторної роботи. Оформлення протоколу.
<b>Тема 3. Масообмінні процеси.</b>		
13	<b>Лекція.</b> Основи масообміну: найпоширеніші масообмінні процеси та їх особливості; фізична суть масопередачі; рівновага при масопередачі; базові закони; матеріальний баланс масообміну, рівняння робочої лінії та його частинні випадки; основне рівняння масопередачі.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 6. Дослідження гідродинаміки насадкової колони (аналітична частина).	Проведення розрахунків, узагальнення одержаних результатів, формулювання висновків за результатами роботи.
14	<b>Лекція.</b> Механізми масопередачі: молекулярна, турбулентна, конвективна дифузія; перший закон Фіка, термодифузія; аналогія гідродинамічних, теплових і масообмінних процесів; другий закон Фіка; масовіддача і закон Щукарева; перенесення маси на границі розділу фаз.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 7. Дослідження масопереносу при десорбції в насадковій колоні (дослідна частина).	Підготовка до лабораторної роботи. Оформлення протоколу.
15	<b>Лекція.</b> Рушійна сила масообміну. Визначення середньої рушійної сили для прямо- і криволінійних ліній рівноваги; визначення коефіцієнта масовіддачі. Основні рівняння і співвідношення, необхідні для розрахунків параметрів процесів.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою.

Тиждень	Зміст навчальної роботи	СРС (93 година за навчальним планом)
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 7. Дослідження масопереносу при десорбції в насадковій колоні (аналітична частина).	Проведення розрахунків, узагальнення одержаних результатів, формулювання висновків за результатами роботи.
16	<b>Лекція.</b> Подібність процесів перенесення. Базові критерії подібності при масообміні та їх фізична суть.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 8. Дослідження тарілчастої ректифікаційної колони (дослідна частина).	Підготовка до лабораторної роботи. Оформлення протоколу.
17	<b>Лекція.</b> Базові відомості про абсорбцію та десорбцію. Способи проведення. Кінетика і особливості процесів.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій абсорберів та їх складових.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Лабораторна робота 8. Дослідження тарілчастої ректифікаційної колони (аналітична частина).	Проведення розрахунків, узагальнення одержаних результатів, формулювання висновків за результатами роботи.
18	<b>Лекція.</b> Базові відомості про ректифікацію і перегонку. Особливості процесів. Фізичний зміст понять числа одиниць перенесення і висоти одиниці перенесення, підходи до їх визначення, пояснення застосування.	Опрацювання тематики заняття. Робота з рекомендованою літературою. Вивчення конструкцій апаратів для перегонки, ректифікаційних колон та їх складових.
	<b>Лабораторне заняття.</b> Модульна контрольна робота. Здача звіту з лабораторних робіт.	Підготовка до модульної контрольної роботи. Оформлення звіту з лабораторних робіт.
<p><b>Примітка.</b> Лабораторні роботи виконуються студентами у підгрупах. Рекомендована кількість студентів у підгрупі – чотири. Порядок виконання лабораторних робіт визначається викладачем, який керує лабораторним практикумом, індивідуально для кожної з підгруп.</p>		

## 6. Самостійна робота студента

Види самостійної роботи вказані в п. 5, відповідно до навчальних тижнів та запланованих навчальних занять.

## Політика та контроль

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

Система вимог до студентів:

- **правила відвідування занять** – відвідування усіх видів занять (лекції, лабораторні заняття)
- обов'язкове як при навчанні в аудиторіях, так і при дистанційному режиму навчання. В останньому випадку заняття проводяться в режимі Zoom-конференцій, а відвідуванням вважається приєднання студента онлайн до Zoom-конференції за наданими викладачами посиланнями і робота на занятті;

- **правила поведінки на заняттях** – не заважати зайвою діяльністю, розмовами (у тому числі телефоном) іншим студентам слухати лекції або працювати на лабораторних заняттях. В аудиторіях та при дистанційному навчанні дотримуватись правил техніки безпеки;

- **правила зарахування лабораторних занять і нарахування балів за їх виконання** – викладач оцінює роботу студента під час заняття, якість і своєчасність представлення результатів виконання завдання;

- **правила призначення заохочувальних та штрафних балів:**

1) заохочувальні бали передбачені у вигляді можливості зарахування освітнього компоненту за підсумками роботи у семестрі («автоматом») за наявності високих показників виконання і захисту завдань, якими вважаються: відвідування не менше 15 лекцій, вчасне написання модульної контрольної роботи, відпрацювання і захист лабораторних робіт; оцінка «автоматом» розраховується за формулою:  $2 * (\text{семестровий рейтинг} - 10)$ ; можливість отримання оцінки «автоматом» та її значення повідомляється на передекзаменаційній консультації, після чого, до початку екзамену, студент повинен повідомити про свою згоду з результатом оцінювання або відмовитись від пропозиції і приступити до складання екзамену;

2) по 2 штрафних бали нараховується за відсутність на занятті без поважної причини або при невчасному виконанні лабораторних завдань;

- **політика дедлайнів та перескладань:**

1) відпрацювання, захист і оцінювання результатів виконання усіх завдань відбувається виключно під час аудиторних занять;

2) повторне складання будь-якого завдання з метою підвищення оцінки не допускається;

3) відсутність на занятті без поважної причини не може бути підставою для його відпрацювання;

4) перескладання екзамену здійснюються за графіком перескладань результатів семестрового контролю, встановленим на рівні університету у терміни, визначені викладачем і повідомлені студентам при оголошенні результатів екзамену;

- **політика щодо академічної доброчесності** – студенти зобов'язані дотримуватись положень Кодексу честі та вимог академічної доброчесності під час освітнього процесу; виявлення академічної недоброчесності при виконанні завдання призводить до незарахування такого завдання з необхідністю повторного його виконання зі зміною вихідних даних і призводить до позбавлення права на отримання оцінки «автоматом»; повторне виявлення академічної недоброчесності у роботах того ж студента призводить до його недопущення до складання екзамену.

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

**Поточний контроль:** оцінювання роботи студентів на лабораторних заняттях (до 6 балів за кожну виконану і захищену лабораторну роботу, максимум за всі лабораторні заняття  $6 \times 8 = 48$  балів), оцінювання виконання модульної контрольної роботи (максимально 12 балів).

**Календарний контроль:** провадиться двічі на семестр на 7-8 та 14-15 тижнях як моніторинг поточного стану виконання вимог Силабусу - студент отримує «атестовано» під час першого та другого календарного контролю, якщо його поточний рейтинг складає не менше за 0,5 від максимальної кількості балів, можливої на час проведення контролю.

**Семестровий контроль** проводиться у формі екзамену, що складається з двох частин: письмової і усної. Письмова частина передбачає відповідь на три питання (два теоретичних і одне – практичне). Питання сформульовані у білетах. Усна частина полягає в опитуванні за тематикою



курсу, пов'язаною із питаннями у білеті. Теоретичні питання оцінюються у 12 балів максимум, практичне питання оцінюється у 16 балів максимум.

**Умови допуску до семестрового контролю:**

- допуск до складання екзамену можливий тільки у разі успішних відпрацювання і захисту всіх лабораторних робіт, написання модульної контрольної роботи і відвідування не менше 10 лекцій;
- студенти, які протягом семестру отримали сумарний рейтинговий бал < 20 до складання екзамену не допускаються;
- індивідуальні семестрові рейтинги студентів та наявність допуску до складання екзамену повідомляються на передекзаменаційній консультації.

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:**

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

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

Перескладання проводиться за «м'якою» схемою (зі збереженням балів, набраних протягом семестру). При цьому за кожне перескладання нараховується 10 штрафних балів.

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

**Складено** доцентом кафедри МАХНВ, к.т.н., доцентом Семінським Олександром Олеговичем.

**Затверджено** на засіданні кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв (протокол № 19 від 17 травня 2023 р.)

**Ухвалено** методичною комісією інженерно-хімічного факультету (протокол № 10 від 26 травня 2023 р.)