



### Процеси та обладнання хімічної технології – 3. Масообмінні процеси

#### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

##### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 механічна інженерія
Спеціальність	133 галузеве машинобудування
Освітня програма	Комп'ютерно інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	денна (очна/дистанційна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	210 годин (54 – годин лекції; 18 годин – практичні; 18 годин – лабораторні; 120 години – СРС)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	<a href="https://rozklad.kpi.ua/">https://rozklad.kpi.ua/</a> <a href="https://ecampus.kpi.ua/">https://ecampus.kpi.ua/</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., професор Корнієнко Ярослав Микитович YNK@kpi.ua  Практичні: к.т.н., старший викладач Гайдай Сергій Сергійович ssgaidai@gmail.com  Лабораторні: к.т.н., старший викладач Гайдай Сергій Сергійович ssgaidai@gmail.com
Розміщення курсу	<a href="https://ecampus.kpi.ua/">https://ecampus.kpi.ua/</a>

##### Програма навчальної дисципліни

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

Вивчення даної дисципліни дозволить студентам засвоїти фундаментальні поняття теорії масообміну, зрозуміти сутність та механізм процесів перенесення маси в однофазному суцільному середовищі, а також багатofазних системах, що містять компоненти у різному агрегатному стані. Дозволить сформулювати уявлення щодо стану рівноваги при масопередачі, а також фактори, які суттєво впливають на зміну рівноважного стану процесів масообміну. Дозволить встановити залежність між концентраціями при проведенні процесу масопередачі у вигляді робочої лінії процесу та визначити його рушійну силу. Розуміння сутності числа одиниць переносу та висоти одиниць переносу дозволить раціонально визначити робочу поверхню міжфазового контакту фаз. Оволодіння методиками розрахунку положення кінетичної кривої дозволить визначити реальні параметри конструкції масообмінного апарату.

Основна увага приділяється зменшенню витрат енергії на процеси тепло- масообміну при досягненні високих якісних кінетичних характеристик.

### **Предмет навчальної дисципліни**

Системний підхід щодо вивчення процесів перенесення речовини в суцільних середовищах при різних гідродинамічних режимах їх руху. Освоєння методик визначення ефективності процесу масопередачі та вплив технологічних параметрів на його ефективність.

### **Міждисциплінарні зв'язки**

Дисципліна «Процеси та обладнання хімічної технології – 4. Масообмінні процеси» ґрунтується на таких дисциплінах: процеси та обладнання хімічної технології – 1, 2, 3; теоретична механіка; теорія машин та механізмів; деталі машин; фізична хімія; механіка матеріалів та конструкцій.

**Метою цієї навчальної дисципліни** є ґрунтовне ознайомлення студентів із теоретичними засадами масообміну, визначення умов ефективного проведення процесу, засвоєння практичних навичок розрахунків масообмінних апаратів із використанням комп'ютерних технологій.

### **Основні завдання навчальної дисципліни**

Студенти після засвоєння дисципліни мають набувати таких знань:

- сучасних підходів, методів і методик, вирішення задач при проектуванні, обслуговуванні, модернізації та утилізації відходів хімічних і нафтопереробних виробництв з урахуванням базових принципів теорії тепломасообміну;

- сучасних підходів, методів і методик, вирішення задач при виборі і підготовці сировини, отриманні продукції та утилізації відходів хімічних і нафтопереробних виробництв з урахуванням базових принципів теорії тепломасообміну.

Відповідно до мети підготовка бакалаврів вимагає поглиблення сформованих у студентів компетентностей:

- користуючись науково-технічною інформацією, нормативними документами, професійними знаннями виконувати вирішення задач при проектуванні, обслуговуванні, модернізації та утилізації обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв з урахуванням базових принципів теорії тепломасообміну;

- користуючись науково-технічною інформацією, нормативними документами, професійними знаннями самостійно виконувати вирішення задач при проектуванні та модернізації обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв з урахуванням базових принципів теорії тепломасообміну;

- користуючись науково-технічною інформацією, нормативними документами, професійними знаннями виконувати вирішення задач при підборі та підготовці сировини, отриманні продукції та утилізації відходів хімічних і нафтопереробних виробництв з урахуванням базових принципів теорії тепломасообміну;

- застосовувати методи комп'ютерного інжинірингу з використанням спеціального програмного забезпечення виконувати комп'ютерне проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв з урахуванням базових принципів теорії тепломасообміну.

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

**Пререквізити:** здатність застосовувати знання на практиці при оцінці методів розрахунку масообмінних процесів, навички використання інформаційних та комп'ютерних технологій, здатність до пошуку, опрацювання та аналізу з різних джерел, здатність застосовувати знання про основні фізико-хімічні засади технологічних процесів хімічної інженерії.

**Постреквізити:** здатність застосовувати знання для практичного вирішення задач, пов'язаних із наданням інноваційних технічних рішень щодо проведення процесів масообміну та вибору алгоритму його реалізації, здатність застосовувати комп'ютеризовані системи розрахунку для обґрунтування технічних рішень щодо удосконалення існуючого обладнання для підвищення його енергоефективності, здатність оцінювання техніко-економічної ефективності систем та їх складників на основі застосування аналітичних методів та аналізу аналогів, здатність приймати рішення щодо вибору конструкційних матеріалів для створення інноваційного обладнання.

Після опанування навчальної дисципліни студенти зможуть використовувати знання з фундаментальних дисциплін та математичний апарат для реалізації професійно-профільованих знань і практичних навичок для вирішення завдань системного інжинірингу зі створення ефективних процесів та інноваційного обладнання для їх реалізації.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Лекційні заняття**

Розділ 1. Основні теорії масообміну

Розділ 2. Масообмінні процеси

### **Практичні заняття**

1. Розрахунок числа ступенів зміни концентрації та методи визначення середньої рушійної сили процесу масообміну. Розрахунок лінії рівноваги.
2. Розрахунок коефіцієнтів масовіддачі та масопередачі
3. Розрахунок числа одиниць переносу та висоти одиниць переносу.
4. Розрахунок насадкового абсорбера.
5. Розрахунок тарілчастого абсорбера. Порівняти енергоефективність апаратів.
6. Розрахунок ректифікаційної колони з ковпачковими та сітчастими тарілками. Порівняти їх енергоефективність.
7. Розрахунок рідинного екстрактора.

### **Лабораторні заняття**

1. Визначення гідравлічного опору насадкового абсорбера при різних режимах руху рідкої та газової фази.
2. Дослідження процесу десорбції.
3. Дослідження процесу ректифікації.

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

##### **Базова література**

1. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології 1: підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок, В. Л. Ракицький, Г. Л. Рябцев // К.: НТУУ «КПІ». – 2011. – Ч.1. – 300 С.
2. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології 2: Підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок, В. Л. Ракицький, Г. Л. Рябцев // К.: НТУУ „КПІ”. – 2011. – Ч.2. – 416 С.
3. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Процеси та апарати хімічної технології / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А. Л. ГОТЛІНСЬКА, В. О. НЕЧИПОРЕНКО. І. С. ЧЕРНИШОВ // Харків, НТУ. – 2006. – Ч.1. – 540 С.
4. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Процеси та апарати хімічної технології / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А. Л. ГОТЛІНСЬКА, В. О. НЕЧИПОРЕНКО І. С. ЧЕРНИШОВ. – Харків, НТУ. – 2006. – Ч.2. – 540 С.
5. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності процесу одержання гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк // НТУУ «КПІ». – 2014. – 349 С.
6. Корнієнко Я. М. Процес зневоднення композитних рідких систем в псевдозрідженому шарі із застосуванням механічного диспергатора / Я. М. Корнієнко, Д. С. Семененко, О. В. Мартинюк. С. С. Гайдай // НТУУ «КПІ». – Київ. – 2015. – 167 С.
7. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 210 С.
8. Корнієнко Я. М. Процеси гранулоутворення мінерально-гумінових добрив / Я. М. Корнієнко, Р. В. Сачок // Електронне видання. – 2014 р. – 158 С.

##### **Додаткова література**

9. Нагурський О. А. Закономірності капсулювання речовин у стані псевдозрідження та їх дифузійного вивільнення: монографія / О. А. Нагурський // М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Л.: Вид-во Львів. політехніки. – 2012. – 188 С.
10. Никитенко Н. Н. Молекулярно-радиационная теория и методы расчета тепло- и массообмена. Монография / Н. Н. Никитенко, Ю. Ф. Снежкін, Н. Н. Сороковая, Ю. Н. Кольчик // НВП «Видавництво наукова думка». – НАН України. – 2014. – 567 С.

##### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

11. Міністерство з питань стратегічних галузей промисловості України [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://mspi.gov.ua>.
12. Союз хіміків України [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <http://chemunion.org.ua/uk>.
13. International congress of chemical process [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://2020.chisa.cz>.
14. Digital management of the construction process – developed by entrepreneurs for entrepreneurs [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://www.chisa.dk>.

## Навчальний контент

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

#### Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних глибоких знань з дисципліни, рівень яких визначається цільовою установкою до кожної конкретної теми;
- забезпечення в процесі роботи критичної творчої роботи спільно з викладачем;
- виховання у студентів професійних якостей та розвиток у них самостійного творчого мислення;
- усвідомлення світових тенденцій розвитку науки в області інтенсифікації процесів тепло- масообміну в промисловому обладнанні;
- усвідомлення методів обробки інформаційних ресурсів та визначення основних напрямків щодо вирішення конкретних науково-технічних задач.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
1	2	3
<b>Розділ 1. Основи теорії масообміну</b>		
1	<p><b>Тема 1.1 Вступ. Основні визначення. Стан рівноваги</b></p> <p>Наводиться фізична сутність процесів масообміну та основні визначення. Розглядається стан рівноваги процесів. Обґрунтовується загальний розв'язок основного рівняння масопередачі та способи вираження концентрацій.</p> <p>Література [1,2,3].</p> <p>Завдання на СРС: Способи вираження концентрації для бінарних систем. Потрійні діаграми для рідких систем. Механізм конвективної дифузії.</p>	2
2	<p><b>Тема 1.2 Дифузійний перенос маси в рухомих середовищах</b></p> <p>Розглянуто механізм масопередачі. Перший закон Фіка. Диференційне рівняння молекулярної дифузії. Фізична модель конвективної дифузії. Диференційне рівняння конвективної дифузії. Термодифузія. Моделі дифузійних процесів.</p> <p>Основний закон конвективної дифузії – закон Щукарева. Узагальнена математична модель процесів масообміну. Визначення коефіцієнту масопередачі. Одержання критеріїв подібності для процесів масообміну. Перетворення основного рівняння масопередачі для насадкових апаратів.</p> <p>Література [1,2,3].</p> <p>Завдання на СРС: Пояснити, як впливає гідродинамічний режим на ефективність масообміну. Навести фактори, які найбільш суттєво визначають дифузійний опір масопередачі.</p>	12
3	<p><b>Тема 1.3 Основи розрахунку масообмінних апаратів</b></p> <p>Наведено основи розрахунку базових конструкцій масообмінних</p>	8



	<p>апаратів. Розрахунок діаметру масообмінних препаратів тарілчастого та насадкового типів. Взаємодія газового і рідинного апаратів та визначення робочої швидкості газової фази.</p> <p>Література [1,2,3].</p> <p>Завдання на СРС: Навести критерії, за якими найбільш доцільно проводити вибір конструктивного оформлення поверхні масообміну.</p>	
4	<p><b>Тема 1.4</b> Масообмін в системах з твердою фазою</p> <p>Розглянута масопередача в системах з твердою фазою. Фізична модель процесу. Математичний опис процесу. Основні критеріальні залежності, які використовуються для інженерних розрахунків.</p> <p>Література [1,2,3].</p> <p>Завдання на СРС: Пояснити, які фактори найбільш суттєво впливають на інтенсивність переносу маси в системах з твердою фазою.</p>	3
<b>Розділ 2. Масообмінні процеси</b>		
5	<p><b>Тема 2.1</b> Масообмін при абсорбції</p> <p>Наведено фізичну модель процесу абсорбції. Види абсорбції. Кінетика процесу абсорбції. Матеріальний баланс процесу абсорбції. Робоча лінія процесу. Розрахунок мінімальних, робочих та оптимальних витрат поглинача.</p> <p>Розглянуто схеми процесу абсорбції. Особливості конструкцій абсорберів. Основи розрахунку різних типів абсорбції. Десорбція. Фізична модель. Методи проведення десорбції.</p> <p>Література [1,2,3].</p> <p>Завдання на СРС: Обґрунтувати схеми проведення абсорбції у випадках вилучення цільового компонента з газового середовища або насичення рідкої фази. За матеріалами патентного огляду навести сучасні ефективні конструкції абсорбції з різними способами організації поверхні міжфазового контакту. Обґрунтувати конструктивні особливості апаратів для десорбції. Пояснити принципи побудови технологічної схеми абсорбції поєднаної з десорбцією.</p>	8
6	<p><b>Тема 2.2</b> Масообмін при адсорбції</p> <p>Наведено фізичну модель. Статика і кінетика адсорбції. Рівняння Шилова.</p> <p>Розглянуто схеми адсорбції. Основи розрахунку адсорберів. Конструкції адсорберів. Схеми процесу. Хроматографія. Іонний обмін. Десорбція.</p> <p>Література [1,2,3,4].</p> <p>Завдання на СРС: За матеріалами патентного огляду навести сучасні конструкції адсорберів періодичної та безперервної дії, а також апарати з використанням іонообмінних смол.</p>	5
7	<p><b>Тема 2.3</b> Масообмін при дистиляції та ректифікації</p> <p>Представлення процесу ректифікації на діаграмах t-x, y та y-x. Вивід рівняння для робочих ліній процесу та їх графічна інтерпретація. Аналіз роботи ректифікаційної колони. Визначення мінімального та робочого</p>	10

	<p><i>флегмових чисел. Основні конструкції ректифікаційних колон.</i></p> <p><i>Література [1,2,3,4].</i></p> <p><i>Завдання на СРС: Пояснити доцільність застосування періодичної та безперервної ректифікації. Вказати переваги та недоліки. За оглядом патентів навести сучасні конструкції ректифікаційних колон з різними типами масообмінних пристроїв.</i></p>	
8	<p><b>Тема 2.4</b> Масообмін при екстракції</p> <p><i>Наведено фізичну модель процесу екстракції з твердого тіла. Способи проведення процесу. Область застосування. Основи розрахунку екстракторів. Графо-аналітичне визначення числа екстракторів. Конструкції екстракторів.</i></p> <p><i>Наведено визначення рідинного екстрагування. Рівновага а потрійних системах. Методи проведення рідинного екстрагування. Графо-аналітичне визначення числа екстракторів. Основи розрахунку рідинних екстракторів.</i></p> <p><i>Література [1,2,3,4].</i></p> <p><i>Завдання на СРС: За результатами патентного огляду навести сучасні конструкції пристроїв для проведення рідинної екстракції. Навести базові сучасні конструкції рідинних екстракторів за результатами огляду патентів передових зарубіжних країн.</i></p>	6
	<b>Всього</b>	<b>54</b>

### **Практичні заняття**

*Повинні допомагати студентам набувати умінь застосовування теоретичних знань при розрахунку обладнання для проведення масообмінних процесів.*

*Основні задачі циклу практичних занять:*

- допомогти студентам систематизувати і поглибити знання теоретичного характеру в області тепломасопереносу в динамічних дисперсних системах;*
- сприяти навчанню студентів методології визначення лімітуючих факторів процесів перенесення маси в динамічних системах при наявності фазового переходу;*
- формуванню критерії оцінки ефективності процесів перенесення та вміння визначати рівень питомих витрат енергії.*

<b>№ з/п</b>	<b>Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</b>	<b>Кількість годин</b>
1	2	3
1	<p><b>Практичне заняття № 1.</b></p> <p><b>Розрахунок числа ступенів зміни концентрації та методи визначення середньої рушійної сили процесу масообміну. Розрахунок лінії рівноваги.</b></p> <p><i>Опанувати методику визначення концентрацій компонента у масових, мольних частках, відносних мольних та відносних масових частках, а також вираження концентрації через парціальний тиск. На основі закону Генрі побудувати криві рівноваги для різних значень температури та тиску при абсорбції. З'ясувати поняття робочої лінії процесу при абсорбції та набути навиків побудови робочої лінії процесу абсорбції. Освоїти методику визначення рушійної сили процесу при абсорбції у рідкій та газовій фазах.</i></p>	2

	<p>Освоїти методику визначення середньої рушійної сили процесу для випадку, коли лінія рівноваги пряма та коли лінія рівноваги крива.</p> <p>Література [1,2,3,11].</p>	
2	<p><b>Практичне заняття № 2.</b></p> <p><b>Розрахунок коефіцієнтів масовіддачі та масопередачі.</b></p> <p>Розглянути модель процесу передачі в одній фазі. Фізична сутність молекулярної та конвективної дифузії. Фізична сутність коефіцієнта масовіддачі. Рівняння на межі розділу фаз. Використання методів розрахунку коефіцієнтів масовіддачі в газовій та рідкій фазах. Умови розрахунку коефіцієнта масопередачі. Розрахунок коефіцієнта масопередачі для випадку коли рушійна сила процесу виражається через різницю концентрацій у рідкій або газовій фазах при абсорбції. Розрахунок коефіцієнта масопередачі при абсорбції коли рушійна сила процесу виражається через різницю парціальних тисків.</p> <p>Література [1,2,3,11].</p>	2
3	<p><b>Практичне заняття № 3.</b></p> <p><b>Розрахунок числа одиниць переносу та висоти одиниць переносу.</b></p> <p>Для процесу абсорбції водою <math>\text{HCl}</math>, <math>\text{NH}_3</math> і <math>\text{CO}_2</math> із суміші з повітрям визначити для насадкових апаратів число одиниць переносу аналітичним та графічним методами. Проаналізувати результати аналітичного та графічного розрахунку, а також сформулювати пропозиції щодо зменшення ЧОП і ВОП та підтвердити це розрахунками.</p> <p>Література [1,2,3,11].</p>	2
4	<p><b>Практичне заняття № 4.</b></p> <p><b>Розрахунок насадкового абсорбера.</b></p> <p>Для конкретних умов процесу абсорбції при поглинанні для трьох газів <math>\text{HCl}</math>, <math>\text{NH}_3</math> і <math>\text{CO}_2</math> обґрунтувати вибір насадки та провести розрахунок протитечійного абсорбера. Розрахувати витрати потужності на проходження газової фази через абсорбер та перекачування рідкої фази. Розрахувати вартість насадки та вартість електроенергії на реалізацію процесу.</p> <p>Література [1,2,3,11].</p>	4
5	<p><b>Практичне заняття № 5.</b></p> <p><b>Розрахунок тарілчастого абсорбера. Порівняти енергоефективність апаратів.</b></p> <p>Для умов практичного заняття №4 провести розрахунок абсорбера з ковпачковими та сітчастими тарілками. Визначити умови, при яких коефіцієнт масопередачі набуває ь максимальних значень. Визначити витрати енергії та порівняти з аналогічними витратами для насадкового абсорбера. Окремо порівняти вартість насадки та тарілок. Оцінити орієнтовні витрати на 1 кг поглиненої речовини.</p> <p>Література [1,2,3,11].</p>	4
6	<p><b>Практичне заняття № 6.</b></p> <p><b>Розрахунок мінімального та дійсного флегмового числа.</b></p> <p>Зрозуміти доцільність повернення частини дистилляту на зрошення</p>	2



	<p>верхньої частини ректифікаційної колони (флегма). Провести розрахунок для конкретного процесу ректифікації та визначити як впливає величина флегмового числа на кількість теоретичних тарілок для безперервної та періодичної ректифікації. Провести розрахунок мінімального та теоретичного флегмового числа для процесу етанол-вода або метанол-вода. Визначити вплив флегмового числа на енергоефективність процесу.</p> <p>Література [1,2,3,11].</p>	
<b>7</b>	<p><b>Практичне заняття № 7.</b></p> <p><b>Розрахунок рідинного екстрактора.</b></p> <p>Визначення селективної здатності розчинника та побудова лінії рівноваги у потрібній діаграмі. Розрахунок числа екстракторів графо-аналітичним методом. Розрахувати насадковий екстрактор. Визначити енергозатрати.</p> <p>Література [1,2,3,11].</p>	<b>2</b>
	<b>Разом</b>	<b>18</b>

## Лабораторні заняття

Повинні допомагати студентам набувати умінь застосовування теоретичних знань при дослідженні обладнання для проведення масообмінних процесів.

Основні завдання циклу лабораторних робіт полягають в доскональному вивченні особливостей та механізму реалізації масообмінних процесів.

№ з/п	Назва теми лабораторного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
1	2	3
1	<b>Лабораторне заняття № 1.</b> <b>Визначення гідравлічного опору насадкового абсорбера при різних режимах руху рідкої та газової фази.</b> Отримати уявлення про реалізацію масообмінних процесів при абсорбції. Визначити гідравлічний опір сухої колони. Визначити гідравлічний опір при постійній витраті рідини, а також при збільшенні витрат газової фази та досягти режиму інверсії фаз. Література [1,2,3,11].3	
2	<b>Лабораторне заняття № 2.</b> <b>Дослідження процесу десорбції.</b> Дослідити процес десорбції вуглекислого газу в струмені повітря при різних витратах рідкої фази та постійних витратах газової фази. Повторити дослідження при мінімальній щільності зрошення поверхні насадки, але при різних витратах рідкої фази. Література [1,2,3,11].	3
3	<b>Лабораторне заняття № 3.</b> <b>Дослідження процесу ректифікації.</b> Визначити кількісні та якісні параметри дистилляту при різних значеннях флегмового числа. Література [1,2,3,11].	3
	<b>Разом</b>	<b>9</b>

## 6. Самостійна робота студента

Мета самостійної роботи полягає у поглибленому вивченні методів, способів та конструкцій обладнання для проведення масообмінних процесів шляхом ознайомлення з вітчизняними та іноземними патентами за вказаними темами. Результати СРС вносяться до альбому конструкцій (звіт по СРС).

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин
1	2	3
<b>Розділ 1. Основи теорії масообміну</b>		
1	<b>Тема 1.1 Вступ. Основні визначення. Стан рівноваги</b> Визначити найбільш суттєві параметри, які впливають на стан рівноваги. Література: [Література [1,2,3].	8
2	<b>Тема 1.2 Дифузійний перенос маси в рухомих середовищах</b> Ознайомитись із способами зменшення дифузійного опору при	

	молекулярній дифузії. <i>Література: [Література [1,2,3].</i>	
<b>3</b>	<b>Тема 1.3 Основи розрахунку масообмінних апаратів.</b> <i>Ознайомитись з методикою розрахунку тарілчастих ректифікаційних апаратів за методом «від тарілки до тарілки»</i> <i>Література: [Література [1,2,3].</i>	<b>16</b>
<b>Розділ 2. Масообмінні процеси</b>		
<b>4</b>	<b>Тема 2.1. Масообмін при абсорбції.</b> <i>За результатами патентного огляду навести по одній конструкції абсорберів в залежності від форми утворення міжфазового контакту: поверхневі, розпилюючі, плівкові, насадкові та тарілчасті.</i> <i>Література: [6, 7, 8].</i>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Тема 2.2 Масообмін при адсорбції</b> <i>За матеріалами патентного огляду навести найбільш ефективні конструкції адсорберів з нерухомим та рухомим шаром сорбенту.</i> <i>Література: [6, 7, 8].</i>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Тема 2.3. Масообмін при дистиляції та ректифікації.</b> <i>За матеріалами патентного огляду навести найбільш ефективні конструкції ректифікаційних колон: насадкові, тарілчастого типу (три типи тарілок) та роторно-плівкового апарату.</i> <i>Література: [6, 7, 8].</i>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Тема 2.4. Масообмін при екстракції.</b> <i>За результатами патентного огляду навести три типи конструкцій рідинних екстракторів.</i> <i>Література: [6, 7, 8].</i>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>Підготовка до модульної контрольної роботи</b>	<b>4</b>
<b>9</b>	<b>Виконання розрахункової роботи</b>	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>Підготовка до іспиту</b>	<b>30</b>
	<b>Разом</b>	<b>120</b>

## Політика та контроль

### Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

*Система вимог, які ставляться перед студентом:*

*–відвідування лекційних, практичних та лабораторних занять є обов'язковою складовою вивчення дисципліни;*

*–на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом, використовує Google диск для викладання матеріалів поточної лекції, додаткових ресурсів, практичних та лабораторних робіт та інше, викладач відкриває доступ до певної директорії для скидання методичних матеріалів у електронній формі;*

*–на лекції не бажано відволікати викладача від викладання матеріалу, усі запитання, уточнення та інше студенти задають в кінці лекції у відведений для цього час;*

*–лабораторні роботи виконуються у два етапи – перший етап: студенти підтверджують свою необхідну підготовку та проводять лабораторні роботи; другий етап:*

захист лабораторної роботи. Бали за лабораторну роботу зараховуються лише за наявності звіту;

–модульна контрольна робота пишеться на лекційних заняттях без застосування допоміжних засобів (мобільного телефону, планшету та ін.). Результат посилається у файлі до відповідної директорії Google диску;

–заохочувальні бали виставляються за активну участь у лекціях, участь у факультетських та університетських олімпіадах з навчальних дисциплін, у конкурсах робіт, підготовку оглядів наукових праць; презентацій по одній із тем СРС дисципліни тощо. Кількість заохочувальних балів не більше 10.

### **Методи навчання**

При викладенні навчальної дисципліни для активації навчального процесу передбачено застосування таких навчальних технологій, як: проблемні лекції, роботи в малих групах тощо.

**Проблемні лекції** спрямовані на розвиток логічного мислення студентів і характеризуються тим, що коло питань теми обмежується двома-трьома ключовими моментами, увага студентів концентрується на матеріалі, що не знайшов відображення в підручниках, використовується досвід закордонних навчальних закладів з роздачею студентам під час лекції друкованого матеріалу та виділенням головних висновків з питань, що розглядаються. При читанні лекцій студентам даються питання для самостійного розмірковування, проте лектор сам відповідає на них, не чекаючи відповідей студентів. Система питань у ході лекції відіграє активізуючу роль, змушує студентів сконцентруватися і почати активно мислити у пошуках правильної відповіді.

**Міні-лекції** передбачають виклад навчального матеріалу за короткий проміжок часу і характеризуються значною ємністю, складністю логічних побудов, образів, доказів та узагальнень. Міні-лекції проводяться, як правило, як частина заняття-дослідження.

**Кейс-метод** (метод аналізу конкретних ситуацій) дає змогу наблизити процес навчання до реальної практичної діяльності спеціалістів і передбачає розгляд виробничих, управлінських та інших ситуацій, складних конфліктних випадків, проблемних ситуацій, інцидентів у процесі вивчення навчального матеріалу.

**Інструменти та програмне забезпечення**, використання яких передбачає навчальна дисципліна «Процеси та обладнання хімічної технології – 4. Масообмінні процеси».

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

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

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
	Кредити	акад. год.	Лекції	Практичні	Лаб. роб.	СРС	МКР	РР	Семестровий контроль
7	4	210	54	18	18	120	2	1	іспит

**Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:**

- виконання практичних завдань (18 години)
- виконання лабораторних робіт (18 годин)
- виконання модульної контрольної
- виконання розрахункової роботи

**Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання**

### **Практичні роботи**

Виконання практичних робіт оцінюється:

- «відмінно» – повна відповідь, вчасно, на занятті виконане завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 2 бали;
- «добре» – достатньо повна відповідь, вчасно, на занятті виконане завдання (не менше 75% потрібної інформації) – 0,75 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь, невчасно, після заняття, виконане завдання (не менше 60% потрібної інформації) – 0,6 балів;
- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів.

### **Лабораторні роботи**

- «відмінно» – повна відповідь, вчасно, на занятті виконане завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 3 бали;
- «добре» – достатньо повна відповідь, вчасно, на занятті виконане завдання (не менше 75% потрібної інформації) – 1 бал;
- «задовільно» – неповна відповідь, невчасно, після заняття, виконане завдання (не менше 60% потрібної інформації) – 0,5 балів;
- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів.

### **Розрахункова робота**

- творча робота – 10 балів;
  - роботу виконано з незначними недоліками – 8-6 балів;
  - роботу виконано з певними помилками – 5-4 бали;
  - роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – 0 балів.
- За кожний тиждень запізнення з поданням розрахункової роботи на перевірку нараховується штрафний – 1 бал (усього не більше -5 балів).

### **Модульна контрольна робота**

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 6 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь, (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 5-4 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь, (не менше 60% потрібної інформації), та незначні помилки – 3 бали;
- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів.

### **Заохочувальні бали**

- за активну роботу на лекції – 1-3 бали



### **Міжсесійна атестація**

За результатами роботи за перші 7 тижнів максимально можлива кількість балів – 20 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 10 балів.

За результатами 13 тижнів навчання максимально можлива кількість балів – 32 бали. На другій атестації (14 тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менший ніж 16 балів.

Таким чином рейтингова семестрова шкала з кредитного модуля складає:

$$R = 2 \cdot r_{\text{практичні}} + 3 \cdot r_{\text{лабораторні}} + 1 \cdot r_{\text{РР}} + 2 \cdot r_{\text{МКР}} = (2 \cdot 5 + 3 \cdot 2) + 4 \cdot 3 + 1 \cdot 10 + 2 \cdot 6 = 50 \text{ балів}$$

### **Екзамен**

Умовою допуску студента до екзамену є зарахування всіх практичних та лабораторних робіт, розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 26 балів.

На екзамені студенти виконують письмову роботу (50 балів).

Екзаменаційний білет містить чотири питання. Перше, друге і третє відносяться до теоретичних, четверте – конструкція обладнання за матеріалами патентного огляду студента, тому максимальна кількість балів розподіляється таким чином: питання 1 – 18 балів, питання 2 – 9 балів, питання 3 – 9 балів, питання 4 – 14 балів.

### **Система оцінювання відповідей на питання**

– «відмінно» – повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язання завдання), відповідно:

I – 18-16; II – 9-8; III – 9-8; IV – 14-12.

– «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язання завдань з незначними неточностями), відповідно: I – 15-13; II – 6-5; III – 6-5; IV – 11-9.

- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконано з певними недоліками), відповідно: I – 12-10; II – 3-2; III – 4-3; IV – 8-6.

- «незадовільно» відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів

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

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
RD < 60	незадовільно
Не виконані умови допуску	не допущено

## **7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

Перелік теоретичних питань, які виносяться на семестровий контроль наведено в додатку 1  
Завдання до розрахункових робіт наведено в додатку 2

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

***Складено проф., д.т.н., Корнієнко Я. М.***

***Ухвалено кафедрою МАХНВ (протокол № 19 від 17.05.2023 р.)***

***Погоджено Методичною радою ІХФ факультету<sup>1</sup> (протокол № 10 від 26.05.2023 р.)***

---

<sup>1</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.

**ПЕРЕЛІК**

*теоретичних питань, які виносяться на семестровий контроль  
з дисципліни «Процеси та обладнання хімічної технології – 4. Масообмінні  
процеси»*

*для спеціальності*

*133 Галузеве машинобудування*

*освітня програма*

*Комп'ютерно інтегровані технології проектування обладнання хімічної  
інженерії*

## **Модульна контрольна робота №1 виконується після вивчення розділу 1.**

1. Процеси масопередачі. Механізм передачі маси.
2. Матеріальний баланс масообміну. Вивід рівняння робочої лінії процесу в масообмінних апаратах.
3. Стан рівноваги. Правило фаз.
4. Розрахунок середньої рушійної сили процесу, коли лінія рівноваги пряма.
5. Конвективна дифузія. Закон Шукарева.
6. Молекулярна дифузія. Вивід диференційного рівняння молекулярної дифузії.
7. Визначення середньої рушійної сили процесу для випадку, коли лінія рівноваги крива.
8. Вивід критеріїв подібності для масообмінних процесів.
9. Фізична суть конвективної дифузії. Вивід диференційного рівняння конвективної дифузії.
10. Коефіцієнти масопередачі. Вивід рівняння для визначення коефіцієнта масопередачі.
11. Визначення числа одиниць переносу для випадку, коли лінія рівноваги пряма.
12. Фізична модель молекулярної дифузії. Перший закон Фіка.
13. Вивід диференційного рівняння молекулярної дифузії.
14. Перетворення основного рівняння масопередачі для насадкових колон.
15. Число одиниць переносу. Висота одиниці переносу.
16. Стан рівноваги. Правило фаз. Закон Генрі.
17. Фізична модель процесу масопередачі. Вивід диференційного рівняння конвективної дифузії.
18. Визначення числа теоретичних тарілок. Ступінь концентрації. Її визначення.
19. Рівняння на межі розділу фаз.
20. Турбулентна дифузія. Коментар рівняння турбулентної дифузії.
21. Розрахунок числа дійсних тарілок у масообмінних апаратах (Розрахунок масообмінних апаратів за кінетичними кривими).
22. Загальне рішення основного рівняння масопередачі.
23. Вивід рівняння робочої лінії масопередачі.
24. Перетворення основного рівняння масопередачі для насадкових колон.
25. Число одиниць переносу. Висота одиниць переносу.
26. Рівняння на межі розділу середовищ.
27. Визначення концентрації бінарної суміші в газовому середовищі через парціальний тиск компонентів.
28. Подібність в процесах масопередачі. Вивід критеріїв подібності.
29. Стан рівноваги. Правило фаз. Вплив температури і тиску на стан рівноваги.
30. Фізична модель взаємодії рідкої і газоподібної фаз в насадковому масообмінному апараті. Порядок розрахунку таких апаратів.
31. Фізична модель процесів масообміну в насадкових і тарільчатих колонах. Розрахунок числа дійсних тарілок в масообмінному апараті за кінетичними кривими.
32. Матеріальний баланс процесів масообміну. Вивід рівняння робочої лінії процесу.

## **Модульна контрольна робота №2 виконується після вивчення розділу 2.**

1. Фізична модель процесу абсорбції. Фізична і хімічна абсорбція, матеріальний баланс процесу абсорбції.

2. Фізична модель процесу ректифікації. Вивід рівняння робочої лінії для нижньої частини ректифікаційної колони.
3. Конструкція абсорбера з провальними тарілками.
4. Визначення мінімальних витрат поглинача.
5. Фізична модель процесу ректифікації, флегмове число.
6. Вивід рівняння робочої лінії для нижньої частини ректифікаційної колони.
7. Конструкція плівкового абсорбера.
8. Дистиляція. Фізична суть процесу.
9. Фракційна перегонка. Розрахунок простої перегонки.
10. Фізична модель процесу абсорбції. Фізична та хімічна абсорбція.
11. Фактори, які суттєво впливають на процес абсорбції. Неізотермічна абсорбція. Розрахунок температури поглинача.
12. Ректифікаційна колона тарілчастого типу (два типи тарілок).
13. Визначення мінімальних витрат поглинача.
14. Перші закони Коновалова та Вревського.
15. Конструкція плівкового абсорбера.
16. Ідеальні сумішні діаграми  $P-X$ ;  $Y-X$ ;  $t-X, Y$ .
17. Абсорбція. рівняння матеріального балансу. Вивід робочої лінії процесу.
18. Конструкція тарілчатого абсорбера, зокрема з провальними тарілками.
19. Конструкція ректифікаційної колони насадкового типу.
20. Другий закон Коновалова, другий закон Вревського.
21. Азеотропна точка. Діаграми  $P-X$ ;  $t - X, Y$ ;  $Y - X$ .
22. Неізотермічна абсорбція. Визначення температури поглинача. Побудова реальної лінії рівноваги.
23. Фізична модель процесу абсорбції. Розрахунок мінімальних та дійсних витрат фази (поглинача) при абсорбції.
24. Конструкція абсорбера плівкового типу.
25. Фізична модель процесу ректифікації. Вивід рівняння робочої лінії для верхньої частини колони.
26. Насадковий абсорбер.
27. Фізична модель процесу дистиляції. Ідеальні рідини. Рідини, які не змішуються одна з одною. Визначення температури кипіння цих рідин.
28. Ректифікаційна колона з ковпачковими тарілками.
29. Фізична модель процесу ректифікації. Вивід рівняння робочої лінії для нижньої частини ректифікаційної колони.
30. Фізична модель процесу екстракції з твердого тіла.
31. Які фактори найбільш суттєво впливають на ефективність процесу екстракції з твердого тіла?
32. Методи проведення екстракції з твердого тіла.
33. Пояснити потрібну діаграму для зображення процесу екстракції в твердому тілі. Визначити область проведення екстракції з твердого тіла.
34. Графо-аналітичний метод. Визначення числа екстракторів з твердого тіла.
35. Навести типові конструкції екстракторів періодичної дії для проведення екстракції з твердого тіла.



36. Навести типові конструкції екстракторів безперервної дії для проведення екстракції з твердого тіла.
37. Навести схему багатовступінчатої екстракції з твердого тіла і пояснити принцип її роботи.
38. Пояснити фізичну сутність рідинної екстракції.
39. Рівновага в потрійній діаграмі. Визначити область проведення екстракції.
40. Навести вимоги до розчинника (екстрагента). Як знаходиться точка змішування вихідної суміші та розчинника в потрійній діаграмі.
41. Як визначається селективність розчинника?
42. Як визначити вміст початкових компонентів в екстракті та рафінаті.
43. Способи проведення рідинної екстракції.
44. Метод графо-аналітичного розрахунку кількості екстракторів періодичної дії.
45. Навести типові конструкції рідинних екстракторів періодичної дії.
46. Навести типові конструкції рідинних екстракторів безперервної дії.
47. Фізична модель процесу адсорбції.
48. Основні вимоги до адсорбенту.
49. Пояснити кінетику процесу адсорбції. Час дії захисного шару адсорбенту. Стан насичення.
50. Пояснити рівняння Шилова для адсорбції.
51. Десорбція. Способи регенерації адсорбенту.
52. Пояснити фізичну модель хроматографії.
53. Навести схеми процесу адсорбції.
54. Пояснити фізичну сутність іонного обміну. Аніони і катіони.
55. Конструкції адсорберів періодичної дії.
56. Конструкції адсорберів безперервної дії.

## Завдання

для розрахункових робіт з дисципліни  
«Процеси та обладнання хімічних технологій – 4. Масообмінні процеси»

Розрахувати абсорбер насадкового типу безперервної дії для поглинання цільового компонента ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ) із суміші повітря з тиском  $P_a$  [МПа]. Об'ємні витрати газової суміші на вході до абсорбера –  $V_{\text{Гп}}$  [ $\text{м}^3/\text{с}$ ] (за нормальних умов). У якості поглинача використовується вода із температурою  $t$  [ $^\circ\text{C}$ ]. Масова частка цільового компонента на вході до колони –  $a_{\text{А.Г.п}}$  [ $\text{кг}_\text{А}/\text{кг}_{\text{А+В}}$ ], на виході –  $a_{\text{А.Г.к}}$  [ $\text{кг}_\text{А}/\text{кг}_{\text{А+В}}$ ]. Початкова масова частка цільового компонента у поглиначі –  $a_{\text{А.Л.п}}$  [ $\text{кг}_\text{А}/\text{кг}_{\text{А+С}}$ ].

Варіант	Цільовий КОМПОНЕНТ	$a_{\text{Гп}}$ , $\text{кг}_\text{А}/\text{кг}_{\text{А+В}}$	$a_{\text{Гк}}$ , $\text{кг}_\text{А}/\text{кг}_{\text{А+В}}$	$a_{\text{Лп}}$ , $\text{кг}_\text{А}/\text{кг}_{\text{А+С}}$	$V_{\text{Гп}}$ , $\text{м}^3/\text{с}$	$t$ , $^\circ\text{C}$	$P$ , МПа	Тип насадки
1	$\text{SO}_2$	0.12	0.010	0.0001	2.0	18	0.1	Керамічні кільця Рашега – регулярна насадка
2	$\text{SO}_2$	0.08	0.020	0.0010	2.5	20	0.1	Стальні кільця Рашега – регулярна насадка
3	$\text{SO}_2$	0.15	0.050	0.0030	1.5	20	0.1	Керамічні сідла Берля
4	$\text{SO}_2$	0.20	0.060	0.0050	1.8	15	0.1	Керамічні кільця Рашега
5	$\text{NH}_3$	0.15	0.035	0.0150	1.5	17	0.1	Керамічні кільця Палля – нерегулярна насадка
6	$\text{NH}_3$	0.16	0.025	0.0020	3.0	25	0.1	Стальні кільця Палля – нерегулярна насадка
7	$\text{NH}_3$	0.08	0.030	0.0040	2.0	15	0.1	Керамічні сідла «Інталокс»
8	$\text{NH}_3$	0.10	0.030	0.0050	1.5	20	0.1	Дерев'яна хордова насадка
9	$\text{NH}_3$	0.15	0.050	0.0030	1.0	18	0.1	Стальні кільця Палля
10	$\text{NH}_3$	0.20	0.080	0.0100	1.8	20	0.1	Керамічні кільця Палля
11	$\text{CO}_2$	0.07	0.010	0.0003	2.5	18	0.1	Керамічні сідла Берля
12	$\text{CO}_2$	0.09	0.015	0.0001	2.2	15	0.1	Керамічні сідла «Інталокс» – нерегулярна насадка
13	$\text{CO}_2$	0.12	0.020	0.0010	1.8	20	0.1	Керамічні кільця Рашега
14	$\text{CO}_2$	0.15	0.030	0.0020	2.8	25	0.1	Керамічні сідла Берля
15	$\text{CO}_2$	0.20	0.040	0.0035	2.5	18	0.1	Стальні кільця Рашега
16	$\text{CO}_2$	0.25	0.040	0.0030	1.5	20	0.1	Дерев'яна хордова насадка
17	$\text{HCl}$	0.11	0.020	0.0045	2.0	17	0.1	Стальні кільця Рашега – регулярна насадка
18	$\text{HCl}$	0.19	0.016	0.0020	2.5	25	0.1	Стальні кільця Рашега – регулярна насадка
19	$\text{HCl}$	0.15	0.020	0.0040	2.5	20	0.1	Керамічні кільця Рашега – регулярна насадка
20	$\text{HCl}$	0.20	0.040	0.0080	1.5	20	0.1	Керамічні сідла «Інталокс»
21	$\text{HCl}$	0.25	0.040	0.010	2.0	15	0.1	Керамічні сідла Берля
22	$\text{HCl}$	0.08	0.010	0.0010	1.8	20	0.1	Стальні кільця Палля

\* Примітка

З метою досягнення кращих показників енергоефективності доцільно вибрати геометричні розміри насадки в межах вказаного типу