



# Процеси та апарати хімічних виробництв -1. Технічна гідравліка. Основи теплопередачі. Теплообмінне обладнання.

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>16 Хімічна технологія</i>
Спеціальність	<i>161 Хімічні технології та інженерія</i>
Освітня програма	<i>Назва</i>
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній
Обсяг дисципліни	3,5 кредити
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит, МКР, РР, поточний контроль</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: кандидат технічних наук, доцент, Швед Микола Петрович, prchved46@gmail Практичні: кандидат технічних наук, старший викладач Новохат Олег Анатолійович, кандидат технічних наук, старший викладач Сачок Роман
Розміщення курсу	<i>Кампус <a href="http://ci.kpi.ua/">http://ci.kpi.ua/</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Технологія виготовлення продукції хімічної, нафтопереробної, біотехнологічної, харчової і ін. галузей промисловості будується як послідовність обмеженої кількості основних процесів, які відбуваються за різних умов (температура, тиск, концентрація і ін.). До цих процесів відносяться механічні, гідромеханічні, теплові, масообмінні, дифузійно-контрольовані, хімічні процеси, які базуються на фундаментальних законах збереження енергії, маси, кількості руху.

Процеси і апарати хімічних та нафтопереробних виробництв – галузь науки й техніки, яка досліджує основні характеристики мікро- й макрокінетики хіміко-технологічних процесів і встановлює параметри, що є умовами їх реалізації у відповідному обладнанні. Вирішальну роль

при цьому відіграє фізичне й математичне моделювання процесів, зокрема з використанням систем автоматизованого моделювання, розрахунку й проектування, які дозволяють здійснити перехід від лабораторних і теоретичних досліджень до реалізації процесів у промисловому обладнанні (масштабний перехід).

Дисципліна ґрунтується на знаннях, одержаних студентами при вивченні навчальних дисциплін гуманітарного, природничо-наукового та професійно-практичного циклів, а саме вищої математики, фізики, хімії, фізичної хімії, теоретичної механіки, опору матеріалів, теоретичних основ теплотехніки, гідравліки, нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки.

Формування знань, практичних умінь і навичок бакалавра здійснюється під час проведення лекційних, практичних та лабораторних занять, організації самостійної роботи.

### Опис навчальної дисципліни

Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Загальні показники	Характеристика кредитного модуля
Галузь знань <u>16 «Хімічна технологія»</u>	Назва дисципліни, до якої належить кредитний модуль Процеси та апарати хімічних виробництв	Форма навчання денна
Напрямок підготовки <u>161 «Хімічна технологія та інженерія»</u>	Кількість кредитів ECTS 3.5	Статус кредитного модуля Дисципліна за вибором ВНЗ
	Кількість розділів 4	Цикл до якого належить кредитний модуль Цикл професійної та практичної підготовки
	PP	Рік підготовки 2024/2025
		Семестр 5
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр	Загальна кількість годин 105	Лекції 36 год.
		Практичні (семінарські) 18 год.
		Лабораторні (комп'ютерний практикум) 0 год.
	Тижневих годин: аудиторних – 3 СРС – 2,5	Самостійна робота 51 год. у тому числі на виконання індивідуального завдання 12 год.
		Вид та форма семестрового контролю Іспит

**Об'єктом навчальної дисципліни** є процеси та апарати хімічних виробництв.

Засвоєння матеріалу дисципліни дозволить засвоїти базові теоретичні засади технічної гідравліки, гідромеханічних процесів та теплових процесів, опанувати методи та методики оцінки їх ефективності, та уміти обґрунтувати технічні рішення щодо підвищення їх ефективності. Це сприятиме підвищенню конкурентоздатності фахівців при працевлаштуванні на престижні інженерні посади.

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів здатностей (компетентностей):

- до вивчення та аналізу процесів хімічних технологій;
- до аналізу конструктивних особливостей хімічного обладнання;
- до аналізу методик розрахунків та проектування хімічного обладнання;
- до підбору елементів хімічного обладнання;
- до вибору енергоносіїв та визначення їх енергетичних параметрів.

**Основні завдання навчальної дисципліни.**

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

**знання:**

- основних хіміко-технологічних процесів та їх класифікацію;
- конструкцій теплообмінного обладнання;
- методик розрахунків основних розмірів й технічних параметрів теплообмінного обладнання;
- джерел постачання теплової енергії;
- напрямків заощадження теплової енергії та збільшення надійності роботи теплообмінного обладнання;
- конструктивних схем теплового обладнання для реалізації певних процесів технологічної схеми;

**уміння:**

- використовуючи дані щодо основних особливостей теплообмінного обладнання проводити їх класифікацію;
- використовуючи дані щодо основних властивостей енергоносіїв, розраховувати їх основні параметри;
- використовуючи дані щодо основних потреб технологічної переробки, вибирати відповідну конструкцію теплообмінного обладнання;
- використовуючи дані щодо конструкцій і технологічних характеристик теплообмінного обладнання, за відповідними методиками розраховувати їх основні розміри й технічні параметри;
- використовуючи дані щодо конструкцій теплообмінного обладнання; та технологічних характеристик процесів, що відбувається в них, оцінювати техніко-економічну доцільність джерел постачання теплової енергії;
- використовуючи дані щодо техніко-економічних показників теплообмінного обладнання визначати основні напрямки економії теплової енергії;
- на основі аналізу варіантів здійснювати раціональний вибір конструктивних схем теплового обладнання для реалізації певних процесів технологічної схеми;
- під час розробки технічної пропозиції, ескізного та технічного проектів і робочої конструкторської документації, використовуючи способи і методи інженерної та комп'ютерної графіки, принципи взаємозамінності та систему допусків і посадок, виконувати складальні креслення теплообмінного обладнання;
- користуючись методиками, обчислювальною технікою, виконувати матеріальні та теплові баланси обладнання, розраховувати кінетичні характеристики процесів та основні геометричні розміри апаратів;

- знаючи основні конструкції обладнання уміти розробляти конструкторську документацію на теплообмінне обладнання;

**досвід:**

- проектний або перевірочний розрахунок теплообмінного обладнання;
- конструктивний розрахунок теплообмінного обладнання;
- визначення особливостей теплоносіїв;

Програмні результати навчання, контрольні заходи та терміни виконання оголошуються бакалаврам на першому занятті.

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

**Пререквізити дисципліни.** Для успішного опанування компетентностями необхідні знання з дисциплін:

- Математика
- Фізика
- Хімія
- Фізична хімія

**Постреквізити дисципліни.** Перелік дисциплін, які забезпечуються цією навчальною дисципліною:

- Розрахунок і конструювання типового обладнання.
- Навчальні дисципліни з комп'ютеризованого інжинірингу.
- Навчальні дисципліни з засобів доставки та переміщення.
- Навчальні дисципліни з процесів теплової підготовки та обробки.
- Навчальні дисципліни з управління технологічними процесами.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Розділ 1 Основи теорії перенесення.

Розділ 2 Технічна гідравліка

Розділ 3. Основи теплопередачі

Розділ 4. Теплообмінне обладнання

## **Навчальні матеріали та ресурси**

Базова література, яку треба використовувати для опанування дисципліни, опрацьовується самостійно для підготовки до практичних занять і в умовах дистанційного навчання. Для виконання модульних контрольних робіт, підготовки доповідей, презентацій, написання есе за результатами самостійної роботи пропонується використовувати додаткову літературу та інтернет-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. Ю.Ю. Лукач Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв// Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок, Г.Л. Рябцев, М.В. Сезонов.– К.: НМЦВО, 2000 Ч.1.-172 с.

4. Ю.Ю. Лукач Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв// Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок, В.Л. Ракицький, Г.Л. Рябцев.– К.: НМЦВО, 2004. Ч.2.- 161 с.
5. Процеси та обладнання хімічної технології-1. Теплові процеси: вказівки до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, освітньої професійна програма бакалаврів «Комп'ютерноінтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Швед М.П., Степанюк А.Р., Швед Д.М. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,71 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 271 с.
6. Процеси та обладнання хімічної технології-2. Теплові процеси: лабораторний практикум, навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. М. Любека, М.П. Швед, Я.М. Корнієнко, Г.С. Подиман – Електронні текстові данні (1 файл: 1,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 65 с.

### Додаткова

1. Основні залежності та приклади розрахунків теплообмінних апаратів. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. Л.Г. Воронін, А.Р. Степанюк, Л.І. Ружинська,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 2011. - 68 с
2. Процеси та обладнання хімічних технологій-1. Базові принципи теорії тепломасообміну: практикум з кредитного модуля [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузе машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.В. Гулієнко, Я.В. Гробовенко. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,93 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 120 с
3. Процеси та апарати хімічних виробництв: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини», освітня програма "Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини" / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Б.І. Дуда, А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко, Р.В. Кичак, Я.Г. Гоцький – Електронні текстові данні (1 файл: 2,62 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 116 Гідрогазодинаміка (прикладі і задачі) : навчальний посібник / С. Й. Ткаченко, Н. Д. Степанова. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 180 с.
4. Тепломасообмін (основи теорії і розрахунку): навч. посіб. /А.І. Погорєлов. – 2-е вид. випр. – Львів: Новий світ -2000, 2004. – 144 с.
5. Лабай В.Й. Тепломасообмін. - Львів: Тріада плюс, 1998.- 260 с.
6. 2. Варламов Г.Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: підручник / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2003. – 232 с.
7. 3. Єгоров Я.О. Теоретичні основи теплотехніки (у системах машинобудування): / Єгоров Я.О., Беліков С.Б., Улітенко О.М.: Навч. посібник. – Запоріжжя: Дике Поле, 2004. – 286 с.
8. 4. Слинько Г.І. Теплотехнічні процеси та теплова обробка матеріалів і виробів: Навч. посібник. / Г.І. Слинько, С.Б. Беліков, О.М. Улітенко – Мелітополь, 2011 – 360

### Нормативна документація

1. ДСТУ EN 247-2003 Теплообмінники. Термінологія.
2. ДСТУ EN 305-2001 Теплообмінники. Визначання експлуатаційних характеристик теплообмінників та загальна методика випробовування для встановлення експлуатаційних характеристик усіх теплообмінників.
3. ДСТУ EN 1118:2008. Теплообмінники. Охолоджувачі рідини, охолоджувані холодоагентом. Методи випробовування для встановлювання робочих характеристик (EN 1118:1998, IDT

## Навчальний контент

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

Інформація (за розділами, темами) про всі навчальні заняття (лекції, практичні, семінарські, МКР, СРС)

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Лабораторні	Практичні	СРС
1	2	3	4	5	6
<b>Розділ 1. Основи теорії перенесення</b>					
<b>Тема 1.1.</b> Вступ до курсу процесів та апаратів. Класифікація хіміко-технологічних процесів	2	2	-	2	2
Явища перенесення в хімічній технології. Рівняння збереження маси, енергії та кількості руху. Принципи їх розв'язання.	4	4			
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Розділ 2. Технічна гідравліка</b>					
<b>Тема 2.1.</b> Статика рідин. Характеристика та їх властивості. Рівняння Ейлера. Основне рівняння гідростатики. Класифікація та принцип дії гідравлічних машин.	4	2	-	-	2
<b>Тема 2.2.</b> Гідродинаміка рідин. Рівняння Ейлера, Нав'є-Стокса, Бернуллі. Опір тертя і місцевий опір, їх розрахунок. Оптимальний діаметр трубопроводу.	12	4		4	4
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>6</b>
<b>Розділ 3. Основи теплопередачі</b>					
<b>Тема 3.1.</b> Дифузійне перенесення теплової енергії	11	3	-	4	4
<b>Тема 3.2.</b> Конвективний теплообмін. Часткові випадки конвективного теплообміну	11	3	-	4	4
<b>Тема 3.3.</b> Теплообмін при зміні агрегатного стану та випромінюванні	6	2	-	-	4
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>28</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Розділ 4. Теплообмінне обладнання</b>					
<b>Тема 4.1.</b> Нагрівання, охолодження і теплообмінні апарати	12	4	-	4	4
<b>Тема 4.2.</b> Випарювання і випарні установки	8	4	-	-	4
<b>Тема 4.3.</b> Сушіння і сушильні установки	12	4	-	4	4
<b>Тема 4.4.</b> Помірний та глибокий холод	12	3	-	4	4
<b>Разом за розділом 4</b>	<b>44</b>	<b>15</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>16</b>
<b>МКР за розділами 1–4</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
<i>Іспит</i>			-	-	9
<b>Всього годин</b>	<b>105</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>51</b>

## 5.1. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	<b>Розділ 1. Основи теорії перенесення</b>	
1	<b>Тема 1.1.</b> Вступ до курсу процесів і апаратів.	<b>6</b>
	<p><i>Заплановано:</i> Приводиться класифікація хіміко-технологічних процесів, а також розглядаються явища перенесення в хімічній технології. Аналізуються рівняння збереження маси, енергії, рівноваги та рушійної сили. Розглядаються принципи їх розв'язання.</p> <p><i>Тема СРС:</i> Аналізуються рівняння збереження маси, енергії, рівноваги та рушійної сили. Розглядаються принципи їх розв'язання.</p> <p><i>Рекомендовано:</i> 1- 7.</p>	
	<b>Розділ 2. Технічна гідравліка</b>	
2	<b>Тема 2.1.</b> Статика рідин. Характеристика та їх властивості. Рівняння Ейлера. Основне рівняння гідростатики. Класифікація та принцип дії гідравлічних машин.	<b>2</b>
	<p><i>Заплановано:</i> Наводяться характеристики рідин, викладається їх класифікація. Приводяться та аналізуються рівняння Ейлера, основне рівняння гідростатики, а також класифікація та принцип дії гідравлічних машин.</p> <p><i>Тема СРС:</i> Скласти альбом конструкцій гідравлічних машин та пристроїв для вимірювання тиску, рівня, швидкості та видатку рідини</p> <p><i>Рекомендовано:</i> 1- 7.</p>	
3,4	<b>Тема 2.2.</b> Гідродинаміка рідин. Рівняння Ейлера, Навьє-Стокса, Бернуллі. Опір тертя і місцевий опір, їх розрахунок. Оптимальний діаметр трубопроводу.	<b>4</b>
	<p><i>Заплановано:</i> Розглядаються властивості та поняття в'язкості рідини. Характеризуються ідеальна та реальна рідини. Виводяться та аналізуються Рівняння Ейлера, Навьє-Стокса, Бернуллі. Розглядаються втрати напору по довжині каналу та місцеві втрати. Аналізуються залежності для визначення оптимального діаметра трубопроводу.</p> <p><i>Тема СРС:</i> Привести класифікацію та скласти альбом конструкцій гідравлічних машин для переміщення рідин та газів.</p> <p><i>Рекомендовано:</i> 1- 7.</p>	
	<b>Розділ 3. Основи теплопередачі</b>	
5,6	<b>Тема 3.1.</b> Дифузійне перенесення теплової енергії	<b>3</b>
	<p><i>Заплановано:</i> Розглядаються види перенесення тепла та поняття градієнта температур, температурного поля, теплового потоку та густини теплового потоку. Виводиться та аналізується основне рівняння теплопровідності. Розглядаються умови однозначності та випадки стаціонарної теплопровідності. Розглядаються кінетичні коефіцієнти теплопровідності, температуропровідності та теплопередачі.</p> <p><i>Тема СРС:</i> Підготувати тему 3.1. Дифузійне перенесення теплової енергії.</p>	

	<i>Рекомендовано 1- 7.</i>	
6,7	<b>Тема 3.2.</b> Конвективний теплообмін. Часткові випадки конвективного теплообміну	<b>3</b>
	<p><i>Заплановано:</i> Розглядається фізична суть конвективного теплообміну. Розглядається рівняння тепловіддачі Ньютона-Ріхмана. Вводиться поняття коефіцієнта тепловіддачі. Виводиться система рівнянь конвективного теплообміну та розглядаються шляхи її рішення. Розглядається метод теорії подібності, теореми та критерії теплової подібності. Приводяться критеріальні рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі та шляхи його інтенсифікації. Література 1- 7.</p> <p>Тема СРС: Підготувати тему 3.2. Конвективний теплообмін. Часткові випадки конвективного теплообміну та шляхи його інтенсифікації. Література 1- 7.</p>	
8,9	<b>Тема 3.3.</b> Теплообмін при зміні агрегатного стану та випромінюванні.	<b>2</b>
	<p><i>Заплановано:</i> Розглядаються види та фізична суть процесів кипіння та конденсації. Приводяться розрахункові залежності для визначення коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні та конденсації та шляхи інтенсифікації цих процесів. Розглядається механізм перенесення теплоти випромінюванням. Приводяться основні закони випромінювання. Аналізуються залежності для визначення теплообміну випромінюванням між тілами та складний теплообмін.</p> <p>Література 1- 5</p> <p>Тема СРС: : Привести класифікацію та скласти альбом конструкцій конденсаторів та кипятильників. Виділити випадки застосування, переваги та недоліки.</p> <p><i>Рекомендовано:</i> 1-7.</p>	
	<b>Розділ 4. Теплообмінне обладнання</b>	
10-12	<b>Тема 4.1.</b> Нагрівання, охолодження і теплообмінні апарати.	<b>4</b>
	<p><i>Заплановано:</i> Приводяться вимоги до теплоносіїв та схеми нагрівання водою, паром, мінеральними маслами та іншими високотемпературними теплоносіями, електричним струмом та пінними газами. Розглядаються види руху теплоносіїв та способи визначення рушійної сили теплопередачі. Приводяться матеріальний та тепловий баланси теплопередачі, а також алгоритм проектного та перевірного розрахунку теплообмінників.</p> <p>Тема СРС: Привести класифікацію та скласти альбом конструкцій теплообмінних апаратів. Виділити випадки застосування їх переваги та недоліки.</p> <p><i>Рекомендовано:</i> 1-7.</p>	
13,14	<b>Тема 4.2.</b> Випарювання і випарні установки	<b>4</b>
	<p><i>Заплановано:</i> Розглядаються механізм та особливості концентрування розчинів шляхом випарювання. Матеріальний та тепловий баланси однокорпусної випарної установки. Аналізуються температурні втрати та алгоритм визначення поверхні теплопередачі. Багатокорпусні випарні установки. Принцип дії. Матеріальний та тепловий баланси. Випадки застосування.</p> <p>Література 1-7.</p> <p>Тема СРС: Привести класифікацію та скласти альбом конструкцій випарних</p>	



	установок Виділити випадки застосування переваги та недоліки. <i>Рекомендовано:</i> 1- 7.	
15,16	<b>Тема 4.3.</b> Сушіння і сушильні установки	<b>4</b>
	<i>Заплановано:</i> Наводиться механізм, стадії та види сушильних установок. Приводяться характеристики вологого повітря як сушильного агента та їх відображення на I-X діаграмі. Розглядаються матеріальний та тепловий баланси конвективної сушарки та визначається поняття про ідеальну сушарку. Приводяться варіанти процесів сушіння та алгоритм визначення витратів тепла та повітря на сушіння. Розглядаються періоди та кінетика сушіння. Приводяться залежності для визначення тривалості періодів сушіння та габаритних розмірів сушарок. Література 1- 7. <i>Тема СРС:</i> Привести класифікацію та скласти альбом конструкцій сушильних установок. Виділити випадки застосування переваги та недоліки. <i>Рекомендовано:</i> 1-7.	
17-18	<b>Тема 4.4.</b> Холодильні установки	<b>3</b>
	<i>Заплановано:</i> Вводиться поняття помірною та глибокого холоду. Вивчаються способи отримання штучного холоду, обернений термодинамічний цикл Карно, холодопродуктивність та холодильний коефіцієнт. Розглядаються та аналізуються цикли парокомпресійної холодильної машини. Вивчаються термодинамічні основи глибокого охолодження. Аналізуються цикли Лінде, Клода, Капіці. <i>Тема СРС:</i> Вивчаються та аналізуються за допомогою T-S діаграми процеси, які відбуваються в парокомпресійній холодильній машині. <i>Рекомендовано:</i> 1- 3.	
18	МКР	<b>1</b>

## 5.2. Практичні заняття

Практичні заняття призначені для більш детального ознайомлення студентів з окремими темами та для кращого засвоєння матеріалу, який викладається на лекціях.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на практичне заняття	Кількість годин
	<b>Розділ 2. Технічна гідравліка</b>	
	<b>Тема 2.2.</b> Гідродинаміка рідини	
1	Дослідження конструкцій машин для переміщення рідин та газів та розрахунки, які ґрунтуються на рівняннях гідростатики та Бернуллі. Література 1,2,3,9	2
	<b>Розділ 3. Основи теплопередачі</b>	
	<b>Тема 3.1.</b> Дифузійне перенесення енергії	
2	Розрахунок процесу теплопровідності. Література 1,2,3,9	2
	<b>Розділ 4. Теплообмінне обладнання</b>	
	<b>Тема 4.1.</b> Теплообмінні апарати	

3-4-5	Дослідження конструкцій теплообмінних апаратів та розрахунок кожухотрубчатого теплообмінника. Література 1,2,3,9	6
	<b>Тема 4.2.</b> Випарювання і випарні установки.	
6-7	Дослідження конструкцій випарних апаратів та розрахунок випарної установки.	4
	<b>Тема 4.1.</b> Сушіння і сушильні установки	
8-9	Дослідження конструкцій сушарок та розрахунок конвективної сушильної установки. Література 1,2,3,9	4

### 5.3. Лабораторні заняття.

Лабораторні заняття планом не передбачені

#### 1. Самостійна робота студента

Дисципліна «Процеси та апарати хімічних виробництв - 1» передбачає такі види роботи студентів: лекції та практичні заняття, одну модульну контрольну роботу, розрахункову роботу, а також самостійну роботу студента. Вивчення дисципліни закінчується складанням іспиту, до якого допускаються студенти, які повністю виконали програму кредитного модуля. Основною формою вивчення дисципліни студентами є самостійна робота з рекомендованою навчальною й навчально-методичною літературою. Метою цієї роботи є набуття теоретичних знань з дисципліни, формування вмінь і досвіду в проектуванні промислового обладнання.

Лекції мають за мету узагальнити й систематизувати знання, набуті студентами під час самостійної роботи.

Практичні заняття призначені для більш детального ознайомлення студентів з окремими темами та для кращого засвоєння матеріалу, який викладається на лекціях.

Метою розрахункової роботи є вироблення вміння застосовувати одержані знання для вирішення практичних і теоретичних завдань сучасного виробництва, набуття досвіду виконання звітної документації.

#### 6.1. Індивідуальні завдання

При вивченні курсу студенти виконують одну розрахункову роботу (РР), метою якої є вивчення конструкцій обладнання та основ його розрахунку. Індивідуальні завдання видаються за тематикою, приведеною в додатку А.

Результат роботи оформляється у вигляді звіту, до якого входить формулювання мети роботи, опис конструктивних особливостей апарату, параметричні конструктивні розрахунки та ескізна схема апарату. Обсяг звіту – 10-15 сторінок А4.

#### 6.2. Контрольні роботи

Планується одна модульна контрольна робота. (МКР)

Основна ціль контрольної роботи полягає у перевірці рівня засвоєння матеріалу, що викладається, що дозволить спростити засвоєння матеріалу студентами та забезпечити більш повний контроль з боку викладача за виконанням навчальної програми студентами.

Орієнтовні питання винесено до додатку Б.

## Політика та контроль

### Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Студент повинен бути присутнім на всіх лекціях, практичних та лабораторних заняттях за винятком підтверджених поважних причин.

Захист практичних, лабораторних робіт, а також індивідуальних завдань проводиться персонально згідно встановлених дедлайнів з урахуванням заохочувальних та штрафних балів

Студенти мають право оскаржити бали за завдання, але обов'язково аргументовано, пояснивши, із яким критерієм вони не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Деталізовані критерії оцінювання результатів навчання студентів визначені у положенні про РСО дисципліни

### Політика університету

#### Академічна доброчесність

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>.

#### Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки аспірантів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

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

- 1) виконання та захист (за вибором викладача) 4 задач та 4 розділів конспекту конструкцій;
- 2) написання МКР;
- 3) виконання та захист РР;
- 4) відповідь на екзамені.

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

#### 1. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал - 8. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює:  
 $8 \text{ балів} \times 4 = 32 \text{ балів}$ .

Критерії оцінювання:

бал 8 виставляється за умови відмінної відповіді.

бал 3-7 виставляється за умови достатньої відповіді.

бал 0-2 виставляється за умови незадовільної відповіді.

#### 2. Модульний контроль

Ваговий бал – 12.

бал 12 виставляється за умови відповіді щонайменше на 95 % питань;

бал 7-11 виставляється за умови відповіді на від 85 до 95 % питань;

бал 4-6 виставляється за умови відповіді на від 75 до 85 % питань;  
бал 2-3 виставляється за умови відповіді на від 60 до 75 % питань;  
бал 0-1 виставляється за умови відповіді менше, ніж на 60 % питань.

### 3. Розрахункова робота.

Ваговий бал – 16.

Критерії оцінювання РР:

бал 14-16 виставляється якщо всі розділи роботи висвітлені в повному обсязі, або допущені окремі неточності;

бал 10-13 виставляється якщо в роботі допущені окремі неточності;

бал 9-4 виставляється, якщо нечітко висвітлена тема роботи, допущені помилки в формулюваннях, термінах та визначеннях;

бал 0-3 виставляється якщо робота виконана незадовільно: наявність суттєвих помилок або відсутність окремих розділів, РР не зарахована.

### 4. Штрафні та заохочувальні бали за:

- несвоєчасне (пізніше, ніж на контрольному занятті) здача задачі чи розділу конспекту конструкцій - 2 бали.

- несвоєчасне (пізніше, ніж на контрольному занятті) здача розрахунку апарата на практичному занятті - 2 бали;

- несвоєчасне (пізніше ніж на тиждень) подання розрахункової роботи - 5 балів;

- заохочувальні бали: виконання завдань із вдосконалення дидактичних матеріалів з кредитного модуля - до 10 балів.

**Розмір шкали рейтингу  $RD = R_{пр} + R_{мкр} + R_{РР} = 32 + 12 + 16 = 60$  балів**

**Розмір екзаменаційної шкали  $R_c = 40$  балів.**

### Умови позитивної проміжної атестації

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент повинен мати не менше ніж 8 балів (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних, заходів «ідеальний» студент має отримати 17 балів).

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент повинен мати не менше ніж 22 бали (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів «ідеальний» студент має отримати 45 балів).

**Умови допуску до екзамену:** зарахування всіх практичних занять, розрахункової роботи, позитивний результат модульної контрольної роботи, а також стартовий рейтинг  $R_c > 24$  балів (не менше 40 % від  $R_c$ ).

**Критерії екзаменаційного оцінювання:** екзаменаційний білет містить 4 питання, максимальна кількість балів по питаннях розподіляється порівну.

Таблиця критеріїв оцінювання відповідей на питання білету

Рівень відповіді	Кількість балів за відповідь на питання			
	Питання 1	Питання 2	Питання 3	Питання 4
Відмінний	9-10	9-10	9-10	9-10
Дуже добрий	7-8	9-10	9-10	9-10

Добрий	5-6	6-8	6-8	6-8
Задовільний	3-4	3-5	3-5	3-5
Достатній	1-2	1-2	1-2	1-2
Незадовільний	0	0	0	0

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

:

<i>Кількість балів</i>	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

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

Під час навчання студенти отримують нові знання, уміння і навички, в основному при проведенні конкретних лекцій, практичних та лабораторних занять під керівництвом провідних НПП кафедри. Досить часто під час навчання студенти, з метою отримання заохочувальних балів залучаються для надання допомоги в розробці навчально-методичної документації (публікації посібників, ліцензування, розробка методичної документації тощо). При цьому характер такої допомоги повинен суворо відповідати профілю дисципліни і по тривалості не повинен заважати виконанню плану навчання студента.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, кандидат технічних наук, доцент, Швед Микола Петрович

Ухвалено: кафедрою машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв (протокол № 20 від 20.06.2024)

Погоджено: методичною комісією інженерно-хімічного факультету (протокол № 11 від 28.06.2024)

## Завдання до розрахункової роботи

## Завдання №1 до РР

Розрахувати теплообмінник для нагрівання / охолодження / конденсації речовини «Р». Початкова температура речовини  $t_{p1}$ , кінцева -  $t_{p2}$ ; . Нагрівальний (охолоджувальний) агент – Т. Втрати теплоти крізь зовнішню поверхню теплообмінника прийняти \_\_\_% від корисно витраченої теплоти. Робочий тиск речовини  $p_p$ , агента  $-p_a$ .

Варіант	Речовина «Р»	Варіант	Масова частка розчиненої речовини в	Варіант	$G \times 10^m$ , кг/с	Варіант	$t_{p1}$	Варіант	$t_{p2}$
1.	розчин етанолу у воді	1	5	1	0,50	1	10	1	90
2.	розчин метанолу у воді	2	10	2	0,60	2	20	2	80
3.	розчин бензолу у толуолі	3	20	3	0,70	3	30	3	70
4.	розчин толуолу в бензолі	4	30	4	0,80	4	40	4	60
5.	розчин мурашиної кислоти в оцтовій кислоті	5	40	5	0,90	5	50	5	50
6.	вода	6	100	6	0,95	6	60	6	40
7.	оцтова кислота	7	60	7	1,20	7	70	7	30
8.	етанол	8	70	8	1,30	8	80	8	20
9.	метанол	9	80	9	1,40	9	90	9	$t_{кип.}$
0	бензол	0	100	0	1,50	0		0	$t_{конд.}$
a		a		a		a	$t_{конд.}$	a	

Тип теплообмінника:  - труба в трубі;  - спіральний;  - пластинчатий;  - кожухотрубний

Агент «Т»:  - вода;  - 25 %-й водний розчин  $CaCl_2$ ;  насичена водяна пара (відносна масова частка повітря в парі  $Y = \text{_____} \% (\text{мас.})$ ;

Тиск:  $p_p = \text{_____}$  МПа; Коефіцієнт степеня  $m = -1$

**Структура пояснювальної записки**

Зміст

Завдання

Вступ

1. Технічна характеристика теплоносіїв
2. Опис і обґрунтування обраної конструкції
3. Параметричний розрахунок апарату
4. Схематичне креслення апарату
5. Висновок
6. Перелік посилань

**Рекомендована література**

1. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології 1: підручник /Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонюк, В.Л. Ракицький, Г.Л. Рябцев – К.: НТУУ „КПІ”, 2011 – Ч.1 – 300 с.
2. Ю.Ю. Лукач Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв// Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонюк, Г.Л. Рябцев, М.В. Сезонов.– К.: НМЦВО, 2000 Ч.1.–172 с.
3. Процеси та обладнання хімічної технології-1. Теплові процеси: вказівки до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, освітньої професійна програма бакалаврів «Комп'ютерноінтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Швед М.П., Степанюк А.Р., Швед Д.М. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,71 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 271 с.

## Завдання №2 до РР

Розрахувати барабанну сушарку з підйимально-лопатевою насадкою для сушіння матеріалу "М" у межах міста "N". Масова продуктивність сушарки G. Відносна вологість матеріалу: початкова  $\omega_1$ , кінцева  $\omega_2$ . Сушильний агент – "А". Втрати теплоти в оточуюче середовище прийняти \_\_\_ % від корисно витраченої теплоти.

Варіант	Речовина «М»	Варіант	$\omega_1, \%$	Варіант	$\omega_2, \%$	Варіант	G, кг/с	Варіант	Місто "N"
	хлорид калію	1	6	1	0,4	1.	0,3	1.	Дніпропетровськ
	сульфат амонію	2	3,6	2	0,4	2.	0,4	2.	Київ
	нітрат амонію	3	4	3	0,3	3.	0,6	3.	Кіровоград
	хлорид натрію	4	5	4	0,2	4.	0,8	4.	Миколаїв
	суперфосфат	5	18	5	3,5	5.	1,0	5.	Одеса
	пісок	6	4	6	0,1	6.	1,2	6.	Харків
	кам'яне вугілля	7	9	7	0,6	7.	1,4	7.	Львів
	глина	8	23	8	4,5	8.	1,6	8.	Суми
	хлорид барію	9	5,5	9	1,2	9.	1,8	9.	Вінниця
	бікарбонат натрію	0	6	0	0,1	0	2,0	0	Херсон
						а		а	

Продуктивність сушарки:  $\square: G = G_1$ ;  $\square: G = G_2$ ;

Сушильний агент „А”:  $\square$  - повітря;  $\square$  - димові гази.

Схема руху сушильного агента та висушеного матеріалу:  $\square$  - Прямотечійна;  $\square$  - протитечійна.

Розрахунок здійснити:  $\square$  - для літніх умов;  $\square$  - для зимових умов;  $\square$  - для середньорічних умов;  $\square$  - для літніх і зимових умов.

Навести графік зміни параметрів вологого повітря в сушарці на .X-I діаграмі.

### Структура пояснювальної записки

Зміст

Завдання

Вступ

1. Технічна характеристика матеріалу та сушильного агента
2. Опис і обґрунтування обраної конструкції
3. Параметричний розрахунок апарату
4. Схематичне креслення апарату
5. Висновок

Перелік посилань

### Рекомендована 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. Ю.Ю. Лукач Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв// Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок, Г.Л. Рябцев, М.В. Сезонов.– К.: НМЦВО, 2000 Ч.1.-172 с.
3. Процеси та обладнання хімічної технології-1. Теплові процеси: вказівки до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, освітньої професійна програма бакалаврів «Комп'ютерноінтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Швед М.П., Степанюк А.Р., Швед Д.М. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,71 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 271 с.

### Завдання №3 до РР

Розрахувати вакуум-випарну установку неперервної дії та підібрати конструкцію випарного апарату (тип і виконання) для концентрування водного розчину речовини "Р". Масова продуктивність установки по вихідному розчину  $G_1$ . Початкова масова частка речовини "Р" у випарюваному розчині становить  $x_1$ , кінцева—  $x_2$ . Температура вихідного розчину  $t_1$ , абсолютний тиск у конденсаторі  $p_0$ , відносна вологість гриючої водяної пари  $\phi$ .

Варіант	Речовина Р"	$X_2$ , % мас	Варіант	$p_0$ , МПа	Варіант	$t_1$ , °С	Варіант	$G_1$ , кг/год	$X_1$ % (мас)	Варіант	$\phi$ , % мас.
1	NaOH	40	1	0,010	1	20	1	10000	10	1	0
2	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	35	2	0,012	2	25	2	13000	11	2	0.5
3	NH <sub>4</sub> Cl	25	3	0,015	3	30	3	15000	12	3	1.0
4	KOH	40	4	0,016	4	35	4	18000	13	4	1,5
5	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	37	5	0,018	5	40	5	20000	14	5	2,0
6	MgSO <sub>4</sub>	40	6	0,020	6	45	6	25000	15	6	2,5
7	KCl	30	7	0,022	7	50	7	30000	16	7	3,0
8	CaCl <sub>2</sub>	40	8	0,023	8	55	8	35000	17	8	3,1
9	MgCl <sub>2</sub>	30	9	0,024	9	23	9	37000	18	9	3.3
0	NaCl	50	0	0,025	0	28	0	40000	19	0	3.5
а	KNO <sub>3</sub>	50	а	0,026	а	30	а	43000	20	а	4.0
б	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	50	б	0,028	б	37	б	45000	23	б	4,5
в	NaNO <sub>3</sub>	45	в	0,030	в	43	в	50000	25	в	5,0
г			г		г		г			г	

Масова частка повітря в гриючій водяній парі. % (мас): 0.5 1.0 1,5

Втрати теплоти в оточуюче середовище, % від корисно витраченої теплоти: 2, 5, 8.

#### Структура пояснювальної записки:

Зміст

Завдання

Вступ

1. Технічна характеристика теплоносіїв
2. Опис і обґрунтування обраної конструкції
3. Параметричний розрахунок апарату
4. Схематичне креслення апарату
5. Висновок
6. Перелік посилань

#### Рекомендована література

1. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології 1: підручник /Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонюк, В.Л. Ракицький, Г.Л. Рябцев – К.: НТУУ „КПІ”, 2011 – Ч.1 – 300 с.
2. Ю.Ю. Лукач Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв// Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонюк, Г.Л. Рябцев, М.В. Сезонов.– К.: НМЦВО, 2000 Ч.1.–172 с.
3. Процеси та обладнання хімічної технології-1. Теплові процеси: вказівки до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, освітньої професійна програма бакалаврів «Комп'ютерноінтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Швед М.П., Степанюк А.Р., Швед Д.М. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,71 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 271 с.



## Питання до МКР

1. Дати визначення рідини. Чим відрізняється реальна рідина від ідеальної?
2. У чому полягає закон в'язкого тертя Ньютона?
3. Чим відрізняються ньютонівські рідини від неньютонівських?
4. Сформулюйте основний закон гідростатики. Приведіть приклади його застосування.
5. Дайте визначення основних видів руху рідини: усталеного, рівномірного і неусталеного, напірного і безнапірного.
6. Який вигляд має рівняння нерозривності потоку?
7. Яка фізична суть величин, що входять у диференціальні рівняння Нав'є -Стокса?
8. Поясніть геометричний та енергетичний змісти усіх членів рівняння Бернуллі.
9. За яких умов можна застосувати рівняння Бернуллі?
10. Чим відрізняється ламінарний рух від турбулентного?
11. Який критерій подібності характеризує режим руху рідини?
12. Як визначають втрати тиску у разі руху рідини в трубопроводі?
13. Які гідравлічні опори називають місцевими?
14. У чому полягає техніко-економічний розрахунок трубопроводу?
15. Під дією яких сил рідина рухається у всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах?
16. Завдяки яким силам створюється напір у робочому колесі відцентрових насосів?
17. Чому поршневі насоси, як правило, працюють з повітряними ковпаками?
18. Чи залежить витрата рідини від тиску, що створюється поршневим насосом?
19. З яких величин складається повний тиск, що створює вентилятор?
20. За якими ознаками газодувні машини поділяють на вентилятори, газодувки (нагнітачі) і компресори?
21. Які види перенесення теплоти приймають участь в теплообміні?
22. Що таке температурний градієнт, ізотермічна поверхня і температурне поле та які їх властивості?
23. Запишіть і проаналізуйте рівняння теплопровідності для різних видів температурного поля.
24. Умови однозначності і їх види.
25. Виведіть рівняння для розподілу температур в плоскій стінці.
26. Виведіть рівняння для температурного поля в циліндричній стінці.
27. Виведіть рівняння для розподілу температур в багат шаровій стінці при граничних умовах 1-го роду.
28. Виведіть і проаналізуйте основне рівняння теплопередачі.
29. Від яких факторів залежить випромінююча здатність тіла?
30. Приведіть основні закони теплового випромінювання.
31. Як визначити кількість теплоти, що передається від більш нагрітого тіла до менш нагрітого.
32. Приведіть механізм конвективного перенесення теплоти.
33. Приведіть систему рівнянь, яка описує конвективне перенесення теплоти.
34. Суть та основні теореми методу теорії подібності.
35. Як перетворюють диференціальні рівняння, які описують той чи інший процес в критеріальні рівняння? Приведіть узагальнене критеріальне рівняння.
36. Назвіть основні критерії гідродинамічної та теплової подібності. Вкажіть їх основний фізичний зміст. Охарактеризуйте модифіковані критерії подібності. Назвіть основні переваги та недоліки теорії подібності.
37. Чим відрізняється рівняння для визначення коефіцієнту тепловіддачі при вимушеній та вільній конвекції.
38. Від чого залежить інтенсивність тепловіддачі і шляхи її інтенсифікації.
39. Приведіть алгоритм розрахунку коефіцієнта тепловіддачі.
40. Приведіть механізм конденсації та особливості визначення коефіцієнта тепловіддачі. Назвіть фактори конденсації. Як впливає вміст газу на тепловіддачу?
41. Приведіть види кипіння і розкрийте поняття критичної різниці температур при кипінні.
42. Виведіть та проаналізуйте рівняння для середньої різниці температур між теплоносійми при прямотечії та протитечії.
43. Які процеси хімічних виробництв належать до теплообмінних?
44. Які вимоги ставлять до теплоносіїв?
45. Який процес називають теплопередачею?
46. Яким рівнянням визначається зв'язок між кількістю переданої теплоти і розмірами теплообмінної апаратури?
47. Яке фізичне значення має коефіцієнт теплопередачі?
48. Який процес називають тепловіддачею?
49. Які параметри характеризують тепловіддачу при природній і вимушеній конвекції?
50. Чому в розрахунковій практиці користуються критеріальними рівняннями конвективного теплообміну?
51. Які критерії теплової і гідродинамічної подібності входять у критеріальні рівняння конвективного теплообміну? Яке їх фізичне значення?
52. У чому полягають особливості тепловіддачі в разі змінення агрегатного стану? Яким критерієм враховують ці особливості? У чому фізична суть цього критерію?
53. Який існує зв'язок між коефіцієнтом теплопередачі та коефіцієнтами тепловіддачі?
54. Із яких величин складається загальний термічний опір теплопередачі?
55. Що є рушійною силою теплообмінних процесів?
56. Чому в розрахунках теплообмінних процесів використовують середню рушійну
57. силу? Як її визначають ?

58. Як можна інтенсифікувати процес теплопередачі?
59. Які методи нагрівання застосовують у хімічних виробництвах?
60. З якого рівняння визначають витрату Якими способами теплоносія для нагрівання?
61. У яких випадках можна застосовувати для нагрівання «гостру» водяну пару?
62. У яких випадках застосовують нагрівання топковими газами? Які недоліки характерні для нагрівання топковими газами?
63. Які способи нагрівання електричним струмом застосовують у хімічних виробництвах?
64. Які позитивні якості та недоліки при охолодженні гарячих теплоносіїв мають вода і повітря?
65. Як визначити витрату охолоджувальної води в теплообміннику?
66. Як класифікують теплообмінні апарати?
67. Які будова і принцип дії одноходового кожухотрубного теплообмінника?
68. Завдяки чому інтенсифікується теплообмін у багатоходових кожухотрубних теплообмінниках?
69. У яких випадках застосовують температурні компенсатори у кожухотрубних теплообмінниках?
70. Коли застосовують теплообмінники типу «труба в трубі»? Які їхні переваги та недоліки порівняно з кожухотрубними теплообмінниками?
71. Як побудований спіральний теплообмінник? Які він має недоліки?
72. В яких хімічних виробництвах застосовують пластинчасті теплообмінники? Які їх позитивні якості та недоліки?
73. Коли застосовують теплообмінники з ребристими поверхнями теплообміну? Дайте порівняльну характеристику теплообмінників різних типів.
74. Наведіть схему проектного розрахунку теплообмінників. Які величини мають бути відомі при проектних розрахунках теплообмінників?
75. Навіщо виконують гідравлічний розрахунок теплообмінників?
76. У чому полягає оптимальний розрахунок теплообмінників?
77. Чим відрізняється перевірений розрахунок теплообмінників від проектного?
78. Що називають конденсацією?
79. Яке призначення процесу конденсації в хімічних виробництвах?
80. За якими ознаками класифікують конденсатори?
81. У чому полягає особливий розрахунок поверхневих конденсаторів?
82. Від чого залежить ефективність роботи конденсаторів змішування?
83. У чому полягає механізм створення розрідження у вакуумних установках застосуванням процесу конденсації?
84. Яке призначення барометричної труби?
85. З якою метою використовують двоступінчастий барометричний конденсатор?
86. Навіщо розраховують кількість газів, що не конденсуються?
87. Як розраховують висоту барометричної труби?
88. Поясніть суть процесу випарювання.
89. Які розчини концентрують випарюванням?
90. Якими методами в хімічній промисловості здійснюють процес випарювання?
91. Чим відрізняється корисна різниця температур від загальної різниці?
92. Із чого складаються температурні втрати у випарній установці?
93. Від чого залежить кількість випареної води?
94. Як визначають витрату нагрівної пари при випарюванні?
95. Перерахуйте способи економії нагрівної пари при випарюванні.
96. З якою метою у випарних апаратах створюють умови для циркуляції випарюваного розчину?
97. Який порядок розрахунку випарних установок?
98. Навіщо відбирають екстрапару?
99. Унаслідок чого виникає явище самовипарювання?
100. Як розподіляється сумарна корисна різниця температур багатокорпусної випарної установки по корпусах?
101. Як визначити оптимальну кількість корпусів багатокорпусної випарної установки?
102. Які конструкції випарних апаратів найпоширеніші в промисловості?
103. Який процес називають сушінням?
104. Що є рушійною силою процесу сушіння?
105. Поясніть поняття: відносна вологість, вологовміст і ентальпія вологого повітря.
106. Поясніть принципи побудови діаграми  $I-x$  стану вологого повітря.
107. Перерахуйте та охарактеризуйте види зв'язку вологи з матеріалом.
108. Як визначають витрату повітря (загальну і питому) на сушіння?
109. Із якого балансу визначають питому витрату теплоти і витрату нагрівної пари на сушіння?
110. Як будується процес теоретичного і реального сушіння на діаграмі  $I-x$ ?
111. Які бувають варіанти процесу сушіння?
112. Поясніть принципи побудови кривих сушіння і швидкості сушіння.
113. Які фактори визначають швидкість сушіння в першій і другий періоди?
114. За якими ознаками класифікують сушарки?
115. Опишіть будову і принцип дії конвективних сушарок.
116. Опишіть будову контактних сушарок.
117. Які матеріали доцільно сушити в конвективних сушарках, а які в контактних?
118. Назвіть методи інтенсифікації процесів сушіння.