



Міністерство освіти і науки України

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Інститут гідротехнічного будівництва та цивільної інженерії  
Кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## СИЛАБУС освітньої компоненти – ОК 22

### ТЕПЛОМАСООБМІН

Освітній рівень	перший (бакалаврський)	
Програма навчання	обов'язкова	
Галузь знань	14	Електрична інженерія
Спеціальність	144	Теплоенергетика
Освітня програма	Енергетичний менеджмент та інжиніринг енергосистем	
Обсяг дисципліни	4 кредитів ECTS (120 академічних годин)	
Види аудиторних занять	Лекції (24 годин), лабораторні заняття (8 годин), практичні заняття (16 години)	
Індивідуальні та (або) групові завдання	Курсова робота	
Форми семестрового контролю	Іспит	

#### Викладач:

Хлієва Ольга Яківна, д.т.н., професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції,  
[khliyev@ogasa.org.ua](mailto:khliyev@ogasa.org.ua)

В процесі вивчення даної дисципліни **СТУДЕНТИ ЗНАЙОМЛЯТЬСЯ З ФІЗИЧНИМИ ОСНОВАМИ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО ТА МАСООПЕРЕНОСУ ТА З МЕТОДИКАМИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ЦІ ПРОЦЕСИ.**

Наприклад: вміння виконувати розрахунки коефіцієнту теплопередачі та аналізувати ефективність тепло- і масообмінних процесів і апаратів; виконувати теплові розрахунки теплообмінних апаратів.

**Передумовами для вивчення дисципліни є набуття теоретичних знань та практичних навичок за такими дисциплінами:**

- Фізика;
- Термодинаміка;
- Технічна механіка рідини та газу;
- Метрологія і стандартизація.

### **Програмні результати навчання:**

- ПРН1. Знати і розуміти математику, фізику, хімію на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.
- ПРН2. Знати і розуміти інженерні науки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки у сфері теплоенергетики.
- ПРН3. Розуміння міждисциплінарного контексту спеціальності «Теплоенергетика».
- ПРН5. Обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.
- ПРН9. Вміти знаходити необхідну інформацію в технічній літературі, наукових базах даних та інших джерелах інформації, критично оцінювати і аналізувати її.
- ПРН10. Знати і розуміти технічні стандарти і правила техніки безпеки у сфері теплоенергетики.
- ПРН11. Мати лабораторні / технічні навички, планувати і виконувати експериментальні дослідження в теплоенергетиці за допомогою сучасних методик і обладнання, оцінювати точність і надійність результатів, робити обґрунтовані висновки.
- ПРН12. Розуміти ключові аспекти та концепції теплоенергетики, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії.
- ПРН14. Мати навички розв'язання складних задач і практичних проблем, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень відповідно до спеціалізації.
- ПРН15. Розуміти основні властивості та обмеження застосовуваних матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів.
- ПРН19. Розробляти та реалізовувати енергозберігаючі заходи при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання.

### **Диференційовані результати навчання:**

#### **знати:**

- основні закони переносу теплоти теплопровідністю, тепловіддачею, випромінюванням;
- основи теорії подібності (подібність і моделювання процесів конвективного теплообміну, критеріальні рівняння для визначення коефіцієнтів теплообміну);
- основи теплового розрахунку теплообмінних апаратів; методи інтенсифікації теплопередачі;

#### **володіти:**

- термінологією в галузі тепломасообміну;
- навичками пошуку інформації про теплофізичні властивості речовин, та визначення меж застосування емпіричних рівнянь для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі;
- навичкам використання сучасного комп'ютерного програмного забезпечення для виконання розрахунків та побудови графіків.

#### **вміти:**

- розраховувати характеристики процесів теплообміну;
- виконувати розрахунки теплообміну з використанням теорії подібності;
- виконувати теплові розрахунки теплообмінних апаратів; аналізувати ефективність тепло- і масообмінних процесів і апаратів;
- експериментально визначати величини, що характеризують процес теплообміну.

### ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

		Кількість годин			
		лек- ції	лабора- торні	прак- тичні	самос- тійна
1	Тема 1 Температурне поле, температурний градієнт, щільність теплового потоку. Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності. Диференціальне рівняння теплопровідності. Коефіцієнт температуропровідності. Граничні умови першого, другого, третього і четвертого роду. Кратка характеристика процесу теплообміну між поверхнею тіла та середовищем. Закон Ньютона - Ріхмана. Коефіцієнт тепловіддачі.	2	0	0	6
2	Тема 2 Розподіл температур в однорідній та багатошаровій плоскій, циліндричній, сферичній стінках. Визначення теплового потоку і кількості теплоти. Термічний опір теплопровідності. Критичний діаметр. Розрахунок оптимальної товщини ізоляції.	2	2	2	6
3	Тема 3 Теплопровідність у ребрі прямокутного профілю постійного поперечного перетину. Рівняння температурного поля. Тепловий потік з поверхні ребра. Ступінь ефективності ребра.	2	2	2	6
4	Тема 4 Процес нестационарної теплопровідності. Критерії Біо та Фур'є, їх фізичне розуміння. Методика розрахунків процесів охолодження (нагріву) пластини, циліндру. Регулярний режим (першого роду), фізична суть та математична трактовка.	2	0	2	6
5	Тема 5 Конвективний теплообмін. Суть теорії подібності. Критерії подібності в якості характеристики подібних явищ. Критерії гідродинамічної подібності ( $Re$ , $Ga$ , $Fr$ , $Gr$ , $Eu$ ), теплової подібності ( $Nu$ , $Fo$ , $Pe$ , $Pr$ ), подібності масопереносних процесів ( $NuD$ , $FoD$ , $PeD$ , $PrD$ ). Визначаюча температура. Визначаючий розмір. Характер течії: ламінарний та турбулентний. Поняття щодо динамічного та теплового приграничного шарів, фактори, що впливають на їхнє формування.	2	0	0	6
6	Тема 6 Конвективний теплообмін при руху рідини вздовж пластини, у трубах, при поперечному омиванні циліндра, трубного пучка.	2	2	2	6

7	Тема 7 Основні фактори, які обумовлюють вільну конвекцію. Характер руху середовища поблизу вертикальних поверхонь (ламінарна, перехідна та турбулентна області). Зміни коефіцієнту тепловіддачі за висотою пластини. Характер руху рідини поблизу горизонтальних труб та горизонтальних пластин. Особливості розвитку руху та теплообмін у обмеженому просторі.	2	2	1	6
8	Тема 8 Механізм процесу теплообміну при бульбашковому та плівковому режимі кипіння рідини у великому об'ємі. Перший та другий кризи кипіння. Особливості теплообміну при кипінні рідин у трубах та щілинах. Методи розрахунку коефіцієнта тепловіддачі.	2	0	2	6
9	Тема 9 Плівкова та краплинна конденсація. Різні режими течії плівки і характер зміни коефіцієнта тепловіддачі за висотою вертикальної стінки. Тепловіддача на пучку горизонтальних труб. Особливості тепловіддачі при конденсації пари усередині горизонтальних труб.	2	0	1	6
10	Тема 10 Природа теплового випромінювання та фактори, які визначають інтенсивність процесу. Баланс променистого теплообміну. Поглинальна та відбивна здатність тіл, пропускна здатність. Абсолютно чорне тіло. Основні закони теплового випромінювання. Випромінювання сірих тіл. Особливості випромінювання газів. Теплообмін в замкнутій системі, яка розділена діатермічним середовищем. Екрани, їх призначення і принцип дії.	2	0	2	6
11	Тема 11 Призначення теплообмінників. Їх класифікація та принципи дії. Два види розрахунку теплообмінників: при проектуванні та перевірочний. Основні схеми руху рідин в апараті. Рівняння теплового балансу і рівняння теплопередачі. Визначення середнє арифметичного та середнє логарифмічного температурного напору.	2	0	2	6
12	Тема 12 Процес переносу маси. Поле концентрації. Градієнт концентрації. Щільність потоку маси. Стаціонарні і нестаціонарні процеси масообміну.	2	0	0	6
	Всього	24	8	16	72

## Критерії оцінювання та засоби діагностики

Мінімальний та максимальний рівень оцінювання щодо "іспит" за навчальною дисципліною "Тепломасообмін" складає 60 і 100 балів і може бути досягнений наступними засобами оцінювання:

Засоби оцінювання		Мінімальна кількість балів	Максимальна кількість балів
Вид контролю	Кількість у семестрі		
Контроль знань:			
- Поточний контроль знань (стандартизовані тести), або	2	2×10	2×20
- Підсумковий (семестровий) контроль знань	1		
- Виконання контрольної роботи	1	10	20
Іспит	1	30	40
<b>Разом</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

З дисципліни передбачено виконання курсової роботи.

Робота складається з двох частин: розрахункової та графічної і виконується у вигляді пояснювальної записки та графічної частини (формат А-3 СК креслення теплообмінника, графіки відповідно розрахунків у тексті пояснювальної записки).

За індивідуальним завданням в розрахунковій частині необхідно виконати тепловий поверочний розрахунок теплообмінника заданих розмірів (з відомою площею теплообмінної поверхні). В якості теплоносіїв задаються прості речовини з відомими теплофізичними властивостями, які рекомендовано визначати за [7]. Розроблено 15 варіантів завдань. Методичні рекомендації щодо виконання курсової роботи [6].

Два рази за семестр проводяться експрес контроль знань – **стандартизовані тести** (20 тестових питань), наприклад

Процес перенесення теплоти у середовищі з неоднорідним розподілом температури, здійснюваний макроскопічними елементами середовища при їх переміщенні, називається

1) *теплопровідністю*; 2) *конвекцією теплоти*; 2) *конвенцією теплоти*; 4) *тепловим випромінюванням*.

Процес передачі теплоти від однієї рідини до іншої через тверду стінку, що їх розділяє, називається

1) *теплопровідністю*; 2) *тепловіддачею*; 3) *теплопередачею*; 4) *конвективним теплообміном*

**Підсумковий контроль знань** проводиться для студентів, що не змогли з будь яких причин набрати необхідну кількість балів, або для студентів, що бажають збільшити вже набрану кількість балів. Підсумковий контроль знань здійснюється у вигляді усної бесіди з викладачем.

**Іспит** проводиться в усній формі, по білетах встановленого зразку . В кожному білеті наведені три питання.

### Питання до іспиту

- Три способа передачі теплоти.
- Теплоперенесення та його найпростіші види, показники ефективності.
- Основне рівняння теплопередачі. Температурний натиск та термічний опір.
- Теплопровідність, суть процесу перенесення теплоти теплопровідністю.

Теплова ізоляція.

- Теплопровідність та теплопередача через плоску стінку. Багатошарова стінка.
- Конвективний теплоперенос, тепловіддача. Рівняння Ньютона-Ріхмана.
- Критерії подоби при розгляді процесів теплопереносу.
- Коефіцієнт тепловіддачі та основні фактори, що впливають на його величину.
- Визначення коефіцієнта тепловіддачі з використанням емпіричних рівнянь при

вимушеній течії рідин та газів у трубах та каналах.

- Теплообмінні апарати. Рівняння теплового балансу.
- Середнелогарифмічна різниця температур у теплообміннику.
- Схеми руху теплоносія у теплообміннику, їх переваги.
- Інтенсифікація теплопередачі.
- Теплова ізоляція, критичний радіус теплової ізоляції циліндричної стінки.
- Тепловий потік, одиниці вимірювання питомого теплового потоку і лінійного

теплового потоку.

- Термічний опір плоскої стінки і циліндричної стінки.
- Зміна питомого теплового потоку по товщині багатошарової плоскої стінки за відсутності в ній внутрішніх джерел теплоти.

• Зміна питомого теплового потоку теплопровідністю по радіусу циліндричної стінки.

- Зв'язок коефіцієнтів тепловіддачі і коефіцієнта теплопередачі, їх розмірність.

Чи може коефіцієнт теплопередачі бути більшим від меншого з коефіцієнтів тепловіддачі?

• Термічні опори теплопередачі для циліндричної поверхні. Як змінюється сумарний термічний опір теплопередачі через трубу в разі збільшення її зовнішнього діаметра?

• Доцільність оребрення поверхні теплопередачі. Доцільно чи ні оребрення з боку води у випадку теплопередачі від води до повітря через металеву стінку.

• Доцільність оребрення поверхні теплопередачі. Доцільно чи ні оребрення з боку повітря у випадку теплопередачі від води до повітря через металеву стінку.

• Ефективність ребра, як вона залежить від матеріалу, товщини ребра, його профілю.

- Вимушена та вільна конвекція, приклади, інтенсивність тепловіддачі.

• Параметри, що впливають на коефіцієнт тепловіддачі при вільній конвекції. Як змінюється інтенсивність конвективного теплообміну від інтенсивності перемішування нерівномірно нагрітих мас рідини.

- Означення коефіцієнта тепловіддачі.

- Як впливає на тепловіддачу за вимушеного руху форма поверхні.

- Як впливає діаметр труби та кут атаки на тепловіддачу при поперечному обтіканні труб.
- Тепловіддача при вимушеному омиванні пучків труб. Для якого пучка тепловіддача більша, від шахового чи від коридорного?
- Зв'язок та розмірність коефіцієнтів температуропровідності і теплопровідності.
- Стаціонарна та нестаціонарна теплопровідність. Критерії подоби нестаціонарної теплопровідності
- Зміна безрозмірної температури в режимі нагрівання і в режимі охолодження тіл.
- Нестаціонарна теплопровідність: зовнішній термічний опір тепловіддачі та внутрішній термічний опір теплопровідності при нагріві та охолодженні тел.
- Поверхня теплопередачі у теплообмінниках. Через яку поверхню відбувається теплопередача в теплообмінному апараті типу «труба в трубі» та у кожухотрубному теплообмінному апараті?

## **Інформаційне забезпечення**

### **Основна література**

1. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина І: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2021. 113 с.
2. Погорелов А.І. Тепломасообмін (основи теорії і розрахунку): Навчальний посібник для вузів. 2-ге видання. Львів: Новий світ – 2000, 2004. 144 с
3. Лабай В. Й. Тепломасообмін. Львів: Тріада Плюс, 2004. 258 с.
4. Чепурний М. М., Резидент Н. В. Тепломасообмін в прикладах і задачах: навчальний посібник. Чепурний. Вінниця: ВНТУ, 2011. 128 с.
5. Константінов С.М. Теплообмін. К.: Політехніка. Інрес, 2005. 303с.
6. Іванченко В. В., Барвін О. І., Штунда Ю. М. Конструювання та розрахунок кожухотрубчатих теплообмінних апаратів. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. 2006. 260с.
7. RefProp: Reference fluid thermodynamic and transport properties, NIST standard reference database. Version 9.1 mini (teaching tool for the introduction of thermodynamics to students). <https://refprop-mini.software.informer.com/9.1/>

### **Допоміжні джерела інформації**

8. Stephan P., Kabelac S., Kind M., Martin H., Mewes D., Schaber K. VDI Heat Atlas, Springer, 2010. 1585 p.