

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**  
Кафедра теплоенергетики

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**  
Директор ННІ енергетики, автоматики і  
енергозбереження  
\_\_\_\_\_ (Каплун В.В.)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**“РОЗГЛЯНУТО І СХВАЛЕНО”**  
на засіданні кафедри теплоенергетики  
протокол № \_\_\_\_ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_ 2023 р.  
в.о. завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ (Антипов Є.О.)

**“РОЗГЛЯНУТО”**  
Гарант ОП «Теплотехніка»  
\_\_\_\_\_ (Горобець В.Г.)

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**«ОСНОВИ ТЕПЛО- І МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ»**

галузь знань 14 – "Електрична інженерія"  
спеціальність 144 - «Теплоенергетика»  
освітня програма 144 Теплоенергетика  
ННІ – «Енергетики, автоматики і енергозбереження»  
кафедра «Теплоенергетики»  
розробник: професор, д.т.н. Горобець Валерій Григорович

# 1. Опис навчальної дисципліни

## Основи тепло- і мосообмінних процесів

(назва)

<b>Освітній ступінь, галузь знань, спеціальність, освітня програма</b>		
Освітній рівень	Бакалавр	
Галузь знань	14 – Електрична інженерія	
Спеціальність	144 – Теплоенергетика	
Освітня програма	освітньо-професійна	
<b>Характеристика навчальної дисципліни</b>		
Вид	Обов'язкова	
Загальна кількість годин	240	
Кількість кредитів ECTS	8,0	
Кількість змістових модулів	4,0	
Форма контролю	<i>Іспит</i>	
<b>Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання</b>		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік підготовки (курс)	2 і 3-й	
Семестр	4 і 5-й	
Лекційні заняття	<i>60 год.</i>	
Практичні, семінарські заняття	<i>30 год.</i>	
Лабораторні заняття	<i>60 год.</i>	
Самостійна робота	<i>90 год.</i>	
Індивідуальні завдання	<i>- год.</i>	
Кількість тижневих аудиторних годин для денної форми навчання	<i>7 год.</i>	
Курсовий проект (робота) (якщо є в робочому навчальному плані)	<i>18 год.</i>	

## **2 Мета та завдання навчальної дисципліни**

1. Мета і задачі дисципліни, її місце в учбовому процесі.

1.1 Мета — засвоєння майбутніми інженерами-теплоенергетиками теоретичних основ теорії тепло- і масообмінних процесів, раціонального використання тепло енергоресурсів та захисту навколишнього середовища.

1.2 Завдання — підготувати бакалаврів до практичної і наукової діяльності в області сучасних і пріоритетних методах підвищення рівня вирішення теплоенергетичних проблем, у тому вивчення знань про протікання процесів гідродинаміки і тепло переносу в теплоенергетичних пристроях різного призначення, тощо. Основне завдання вивчення дисципліни полягає у підготовці студентів до наступних етапів навчання, а також до практичної діяльності на виробництві.

1.3. Вимоги до знань та умінь, набутих у процесі вивчення дисципліни.

.....

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні **знати**:

- основні положення теорії тепло і масообміну;
- теплові і гідродинамічні процеси в теплоенергетичних установках.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні **уміти**:

- виконувати гідравлічні і теплотехнічні розрахунки різноманітних технологічних процесів;
- застосовувати сучасні технології при проектуванні теплоенергетичних установок різного призначення;
- давати техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень.

**Набуття компетентностей:**

***Загальні компетентності (ЗК):***

**ЗК1.** Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.

**ЗК2.** Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

**ЗК3.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**ЗК4.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

**ЗК5.** Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

**ЗК6.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

**ЗК7.** Здатність працювати в команді.

**ЗК8.** Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

**ЗК9.** Здатність приймати обґрунтовані рішення.

**ЗК10.** Здатність спілкуватися іноземною мовою.

#### ***Фахові компетентності (ФК):***

**ФК1.** Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні методи, методи природничих та технічних наук і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі.

**ФК2.** Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін для вирішення професійних проблем.

**ФК3.** Здатність проектувати та експлуатувати теплоенергетичне обладнання.

**ФК4.** Здатність виявляти, класифікувати і оцінювати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі.

**ФК5.** Здатність визначати, досліджувати та розв'язувати проблеми у сфері теплоенергетики, а також ідентифікувати обмеження, включаючи ті, що пов'язані з інженерними аспектами і проблемами охорони природи, сталого розвитку, здоров'я і безпеки та оцінками ризиків в теплоенергетичній галузі.

**ФК6.** Здатність враховувати знання і розуміння комерційного та економічного контексту при прийнятті рішень в теплоенергетичній галузі.

**ФК7.** Здатність враховувати ширший міждисциплінарний інженерний контекст у професійній діяльності в сфері теплоенергетики.

**ФК8.** Здатність використовувати наукову і технічну літературу та інші джерела інформації у професійній діяльності в теплоенергетичній галузі.

**ФК9.** Здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів вирішуваної проблеми, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію теплоенергетичного обладнання.

**ФК10.** Здатність дотримуватися професійних і етичних стандартів високого рівня у діяльності в теплоенергетичній галузі.

**ФК11.** Здатність забезпечувати якість в теплоенергетичній галузі.

**ФК12.** Здатність забезпечувати захист інтелектуальної власності, готувати, оформлювати і виконувати контракти в теплоенергетичній галузі.

**ФК13.** Здатність демонструвати розуміння розвитку сфери теплоенергетики та агросектору шляхом переходу від традиційних до відновлювальних джерел енергії.

**ФК14.** Здатність застосовувати набуті знання при побудові та експлуатації біоенергетичних систем для сфери теплоенергетики та агросектору з оцінкою їх впливу на довкілля

### 3 Програма і структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		Л	п	ла б	ін д	с.р.		л	п	ла б	ін д	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Змістовий модуль 1. <u>Основи теорії теплопровідності.</u></b>												
Тема 1. Основні закони переносу теплоти. Теплопровідність. Закон Фур'є. Диференційне рівняння теплопровідності.	30	7	7	8		7						
Тема 2. Розрахунок теплопровідності плоских і циліндричних стінок.	30	8	7	8		8						
Разом за змістовим модулем 1	60	15	15	15		15						
<b>Змістовий модуль 2. <u>Променистий теплообмін і закони теплового випромінювання.</u></b>												
Тема 3. Променистий теплообмін. Основні поняття і характеристики.	20	5	5	5		5						
Тема 4. Закони теплового випромінювання. Екранування.	20	5	5	5		5						
Тема 5. Випромінювання і поглинання газів і пари. Розрахунок променистого теплообміну між тілами.	20	5	5	5		5						
Разом за змістовим модулем 2	60	15	15	15		15						
Разом за I семестр	120	30	30	30		30						
<b>Змістовий модуль 3. <u>Конвективний теплообмін Теорія подібності.</u></b>												

Тема 6. Конвективний теплообмін. Гідродинамічний та тепловий приграничний (межовий) шар. Коефіцієнт тепловіддачі.	20	5		5		10							
Тема 7. Сутність і методи теорії подібності і теплового моделювання. Ознаки подібності. Основні критерії гідродинамічної і теплової подібності.	20	5		5		10							
Тема 8. Критеріальні рівняння для окремих випадків конвективного теплообміну.	20	5		5		10							
Разом за змістовим модулем 3	60	15		15		30							
<b>Змістовий модуль 4. <u>Теплообмін при кипінні та конденсації. Методи інтенсифікації процесів теплообміну.</u></b>													
Тема 9. Теплообмін при кипінні та конденсації.	30	7		8		15							
Тема 10. Методи інтенсифікації процесів теплообміну.	30	7		8		15							
Разом за змістовим модулем 4	60	15		15		30							
Разом за II семестр	120	30		30		60							
Усього годин	240	60	30	60		90							
Курсовий проект (робота) з <u>основ тепло- і масообмінних процесів</u> (якщо є в робочому навчальному плані)	18	-	-	-		-	-	-	-				
Усього годин	240	60	30	60		90							

#### 4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		

#### 5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	I семестр	
	Модуль 1	
1	Стационарна теплопровідність одношарової плоскої стінки в граничних умовах I роду: пряма та зворотна задача.	5
2	Стационарна теплопровідність одношарової плоскої стінки з урахуванням залежності коефіцієнта теплопровідності від температури	5
3	Стационарна теплопровідність багатошарової стінки в граничних умовах I та II роду	5
4	Нестационарні процеси теплопровідності	5
	Модуль 2	
5	Методика розрахунку променистого теплообміну між твердими тілами.	5
6	Теплообмін випромінюванням у поглинальному середовищі	5
Загалом за I семестр		30

#### 6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	I семестр	
	Модуль 1	
	Вступне заняття	2
1	Вимірювання температури за допомогою термопари	3
2	Визначення теплового потоку через плоску стінку	3
3	Визначення коефіцієнту теплопровідності теплоізоляційних матеріалів	3
4	Визначення коефіцієнту теплопровідності матеріалу методом циліндричного шару	4
5	Визначення коефіцієнта теплопровідності сипучих матеріалів методом кулі	4
	Модуль 2	
6	Дослідження закономірностей променистого теплообміну	4
7	Визначення коефіцієнта тепловіддачі від горизонтальної труби при вільній конвекції	4
	Підсумкове заняття	3
Загалом за I семестр		30

	II семестр	
	Модуль 3	
	Складання критеріального рівняння тепловіддачі при охолодженні горизонтальної труби в умовах вільної та вимушеної конвекції	6
	Вивчення метода регулярного теплового режиму	6
	Визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі при охолодженні поверхні системою імпактних струмин	6
	Модуль 4	
	Дослідження локальних коефіцієнтів тепловіддачі при струминному обтіканні поверхні методом аналогії з масообміном	6
	Визначення коефіцієнта теплопередачі	6
	Загалом за II семестр	30
	Разом за I і II семестр	60

### **7. Контрольні питання, комплекти тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами**

1. Що таке теплопровідність?
2. Що таке температурне поле?
3. Що таке ізотермічна поверхня?
4. Що таке температурний градієнт?
5. Сформулювати та записати закон Фур'є.
6. Що таке коефіцієнт теплопровідності?
7. Записати диференційне рівняння теплопровідності.
8. Що таке крайові умови рівняння теплопровідності?
9. Якими бувають граничні умови рівняння теплопровідності?
10. Провести розрахунок теплопереносу в безкінечній одношаровій плоскій стінці для граничних умов 1-го роду.
11. Що таке коефіцієнт теплопередачі та термічний опір безкінечної одношарової плоскої стінки?
12. Записати вирази для коефіцієнта теплопередачі та термічного опору для безкінечної багатошарової стінки.
13. Провести розрахунок теплопереносу в безкінечній багатошаровій плоскій стінці для граничних умов 3-го роду.
14. Розрахувати теплоперенос в безкінечній циліндричній стінці або трубі?
15. Що таке променистий теплообмін?
16. Чим відрізняється променистий теплообмін в твердих тілах та газах?
17. Що таке інтегральна та спектральна інтенсивність випромінювання?
18. Що таке яскравість випромінювання?
19. Основні закони поглинання, пропускання та відбивання променистої енергії? Коефіцієнти відбивання, пропускання та поглинання?
20. Що таке ефективне та результуюче випромінювання?
21. Закони теплового випромінювання та їх фізичний зміст:
22. Закон Планка.
23. Закон Релея-Джінса.
24. Закон Віна.



25. Закон Стефана-Больцмана.
26. Закон Кірхгофа.
27. Закон косинусів Ламберта.
28. Метод розрахунку променистого теплообміну:
29. Метод багатократних відбивань.
30. Метод сальдо.
31. Що таке екранування? Як впливає наявність екранів на результуючий тепловий потік?
32. Основні положення променистого теплообміну для газів і пари.
33. Рівняння переносу променистої енергії в газах.
34. Закон Бугера.
35. Променистий теплообмін між газом та оболонкою.
36. Що таке конвективний теплообмін ?
37. Якими величинами характеризуються в'язкість та об'ємне розширення рідини або газу?
38. Що таке гідродинамічний та тепловий приграничний шари?
39. Що таке природна та вимушена конвекція?
40. Що таке ламінарний і турбулентний режим течії?
41. Рівняння конвективного переносу.
42. Фізичний смисл членів, що входять в рівняння конвективного переносу.
43. Початкові та граничні умови для рівнянь конвективного переносу.
44. Що таке подібність процесів конвективного теплообміну?
45. Основні критеріальні комплекси або критерії рівнянь конвективного переносу.
46. Що таке критеріальні рівняння?
47. Основні ознаки подібності фізичних процесів тепло- і масопереносу.
48. Використання методів теорії подібності при математичному та експериментальному моделюванні процесів конвективного теплообміну.
49. Критеріальні рівняння теплопереносу для плоскої пластини при вимушеній конвекції: а) ламінарний режим течії, б) турбулентний режим течії.
50. Критичне число Рейнольда.
51. Критеріальні рівняння теплопереносу при вимушеній конвекції в трубах: а) ламінарний режим течії, б) турбулентний режим течії.
52. Особливості розрахунку критеріальних рівнянь при вимушеній конвекції для каналів довільної форми.
53. Критеріальні рівняння теплопереносу при поздовжньому обтіканні пучків труб з шахматним та коридорним розташуванням.
54. Критеріальні рівняння теплопереносу при поперечному обтіканні одиночної труби.
55. Тепловіддача при поперечному обтіканні коридорних пучків труб.
56. Характер теплопереносу при вільній конвекції. Що таке числа Грасгофа і Релея  $Gr$ ,  $Ra$ ?

57. Критеріальні рівняння теплопереносу при вільній конвекції на плоскій вертикальній пластині: а) ламінарний режим течії, б) турбулентний режим течії.
58. Тепловіддача при вільній конвекції на поверхні горизонтальної труби: а) ламінарний режим течії, б) турбулентний режим течії.
59. Основні закономірності процесу кипіння на плоскій поверхні. Бульбашкове та плівкове кипіння.
60. Кипіння у вертикальній трубі. Основні режими і фази кипіння у вертикальній трубі.
61. Основні критерії, що описують теплообмін при кипінні.
62. Критеріальні рівняння теплопереносу при кипінні у трубі.
63. Що таке крива кипіння? Перша і друга кризи теплообміну при кипінні.
64. Що таке процес конденсації? Крапельна та плівкова конденсація.
65. Теплообмін при конденсації нерухомої пари на вертикальній стінці. Рівняння Нуссельта.
66. Основні критерії та критеріальні рівняння при конденсації на поверхні при ламінарному і турбулентному режимі течії.
67. Критеріальні рівняння при конденсації рухомої пари у вертикальних трубах: а) ламінарний режим; б) турбулентний режим течії.
68. Конденсація на пучках горизонтальних труб.
69. Для чого використовують інтенсифікацію теплообміну на поверхні? Види інтенсифікації процесів теплообміну.
70. Оребрення як спосіб інтенсифікації теплообміну. Основні типи ребер. Теплова ефективність ребер.
71. Як визначається коефіцієнт теплопередачі для оребрених поверхонь? Що таке коефіцієнт оребрення?
72. Турбулізація як метод інтенсифікації теплообміну. Види інтенсифікаторів теплообміну.
73. Критеріальні рівняння для числа Нуссельта при поздовжньому обтіканні пучків труб з поздовжнім оребренням: а) ламінарний режим; б) турбулентний режим.
74. Критеріальні рівняння теплообміну течії при поперечному обтіканні пучків труб з поперечним оребренням: а) коридорний пучок труб; б) шаховий пучок труб.

## **8. Методи навчання**

Методи організації та здійснення навчально-пізнавальної діяльності студентів, які використовуються при вивченні дисципліни:

1. В аспекті передачі і сприйняття навчальної інформації:
  - словесні (лекція);
  - наочні (ілюстрація, демонстрація).
2. В аспекті логічності та мислення:
  - пояснювально-ілюстративні (презентація);
  - репродуктивні (короткі тестові завдання).
3. В аспекті керування навчанням:
  - навчальна робота під керівництвом викладача;

- самостійна робота під керівництвом викладача.

4. В аспекті діяльності в колективі:

- методи стимулювання (додаткові бали за реферати, статті, тези).

5. В аспекті самостійної діяльності:

- навчальний модуль: структурно-логічні схеми; вибіркові тести.

### 9. Форми контролю

Основними формами організації навчання під час вивчення дисципліни «Термодинаміка і теплотехніка» є лекції, з використанням мультимедійних засобів навчання, лабораторні заняття, доповідей на щорічні студентські конференції, консультації, самостійна робота студентів.

Відповідно до вище зазначених форм організації навчання формами контролю засвоєння програми є: самоконтроль, здача модульних тестів на elearn та здача іспиту за період вивчення дисципліни.

### 10. Розподіл балів, які отримують студенти

Оцінювання знань студента відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національні оцінки згідно з табл. 1 «Положення про екзамени та заліки у НУБіП України» (наказ про уведення в дію від 27.12.2019 р. № 1371)

Рейтинг здобувача вищої освіти, бали	Оцінка національна за результатами складання	
	екзаменів	заліків
90 – 100	відмінно	зараховано
74-89	добре	
60-73	задовільно	
0-59	незадовільно	не зараховано

Для визначення рейтингу студента (слухача) із засвоєння дисципліни  $R_{дис}$  (до 100 балів) одержаний рейтинг з підсумкової атестації  $R_{па}$  (іспит, до 30 балів) додається до рейтингу студента (слухача) з навчальної роботи  $R_{нр}$  (до 70 балів):

$$R_{дис} = R_{нр} + R_{па}$$

### 11. Методичне забезпечення

Наявність комп'ютерних класів, рекомендована література, методичні вказівки.

### 12. Рекомендована література

#### Основна література

1. Горобець В.Г. Основи теплотехніки. 2019. ЦП Компринт, 400 с.

2. Теплотехніка / [упор. Б.Х.Драганов, О.С.Бессараб, А.А.Долінський та ін.] ; під ред. Б.Х. Драганова. – [2-е вид.]. – Київ: в-во «Фірма «ІНКОС», 2005. – 400 с.

3. Горобець В.Г. Теплотехніка та використання теплоти в сільському господарстві. – Київ. –ЦП «Компринт». 2015. – 389 с.

### Додаткова література

1. Горобець В.Г. Теплоенергетичні установки і системи. 2018. ЦП Компринт, 393 с.

2. Горобець В.Г. Когенераційні установки. - Київ. –ЦП «Компринт». 2016. – 300 с.

3. Алабовский А. Н., Константинов С. М., Недужий И. А. Теплотехника. – К.: Вища шк., 1986. – 256 с.

4. Арнольд Л. В., Михайловский Г. А., Селивестров В. М. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш. шк., 1979. – 445 с.

5. Теплотехніка / О. Ф. Буляндра, Б. Х. Драганов, В. Г. Федорів та ін. – К.: Вища шк., 1998. – 333 с.

6. Драганов Б. Х., Кузнецов А. В., Рудобашта С. П. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1990. – 464 с.

7. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш. шк., 1975. – 496 с.

8. Теплотехника / Под ред. А. П. Баскакова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.

9. Теплотехника / Под ред. В. И. Крутова. – М.: Машиностроение, 1986. – 427 с.

10. Техническая термодинамика / Под ред. В. И. Крутова. – М.: Машино-строение, 1991. – 384 с.

11. Юдаев Б. М. Техническая термодинамика. Теплопередача. – М.: Высш. шк., 1988. – 480 с.

12. J. Szargut. Termodynamika. – Warszawa, Panstwowe wydawnictwo Naukowe, 1985.

### 13. Інформаційні ресурси

1. Кудинов, Карташов, Стефанюк: Теплотехника. Учебное пособие.

<https://www.labyrinth.ru/books/622980/>

2. Теплотехника : учебник для вузов / под общ. ред. А. М. Архарова, В. Н. Афанасьева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. <http://baumanpress.ru/books/347/347.pdf>

3. Теплотехніка: основи термодинаміки, теорія теплообміну, використання тепла в сільському господарстві. Навчальний посібник. <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/teplotehnika.pdf>