



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

**Міністерство освіти і науки України**

**Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Навчально-науковий інститут водного господарства та  
природооблаштування**

**Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та  
гідравлічних машин**

**“Затверджую”**

Проректор з науково-педагогічної,  
методичної та виховної роботи

\_\_\_\_\_ О.А. Лагоднюк

“ 10 ” 04 2018 р.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

**01-06-34**

**Робоча програма навчальної дисципліни**  
Program of the Discipline

**„Тепломасообмін”**  
„ Heat-mass exchange”

**спеціальність 145 „Гідроенергетика”**  
specialty 145 „Hydropower”



Робоча програма навчальної дисципліни „Тепломасообмін” для студентів спеціальності «Гідроенергетика», першого (бакалаврського) рівня підготовки.- Рівне: НУВГП, 2018. – 12 с.

**Розробник:** В.В.Куба, старший викладач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин

Робочу програму схвалено на засідання кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Протокол № 6 від 26 січня 2018 року.

Завідувач кафедри ГЕ, ТЕ та ГМ \_\_\_\_\_ (О. Рябенко)

Схвалено науково-методичною комісією за спеціальністю 145 „Гідроенергетика”.

Протокол № 6 від 28 лютого 2018 року.

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ (О. Рябенко)



## ВСТУП

Програма обов'язкової навчальної дисципліни «Тепломасообмін» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності 145 «Гідроенергетика».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є формування теоретичних знань та практичних навичок при розрахунках процесів передачі теплоти та теплообмінних апаратів.

Міждисциплінарні зв'язки: дисципліна «Тепломасообмін» є складовою частиною фундаментальної підготовки інженерів за спеціальністю «Гідроенергетика», а її вивчення передбачає наявність систематичних і ґрунтовних знань з дисциплін «Вища математика», «Фізика», та закладає основи для вивчення дисциплін «Гідрогазодинаміка», «Гідроелектростанції в особливих кліматичних умовах».

Вимоги до знань та умінь визначаються галузевими стандартами вищої освіти України.

## Анотація

Програма розрахована на студентів, які навчаються за спеціальністю 145 «Гідроенергетика». Програма передбачає комплексне вивчення процесів тепло та масообміну, розрахунку теплообмінних апаратів, які використовуються для розв'язку інженерних задач.

У курсі «Тепломасообмін» детально розглянуті процеси передачі теплоти теплопровідністю, конвекційним теплообміном, випромінюванням, розрахунки теплообмінних апаратів, процеси масообміну.

Ключові слова: теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання, теплообмінний апарат, молекулярна та конвекційна дифузія.

## Abstract

The program is designed for students studying in specialty 145 "Hydropower ". The program provides a comprehensive study of the processes of heat and mass transfer, the calculation of heat exchangers, which are used for the solution of engineering problems.

In the course "Heat and mass exchange" in detail the processes of heat transfer by heat conduction, convection heat exchange, radiation, calculations of heat exchangers, processes of mass transfer.

Key words: thermal conductivity, convection, thermal radiation, heat exchange apparatus, molecular and convection diffusion.



## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни		
		денна форма навчання	заочна форма навчання	
Кількість кредитів – 7	Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»	<b>Нормативна</b>		
Модулів – 2 Змістових модулів – 4	Спеціальність 145 «Гідроенергетика»	<b>Рік підготовки:</b>		
		2-й		2-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання – немає		<b>Семестри:</b>		
		3-й (4 кр)	4-й (3 кр)	3,4-й
Загальна кількість годин – 210		<b>Лекції</b>		
		20 год.	16 год.	4 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 год. СРС – 4 год.	Рівень вищої освіти – бакалавр	<b>Практичні</b>		
		14 год.	12 год.	10 год.
		<b>Лабораторні</b>		
		8 год.	4 год.	6 год.
		<b>Самостійна робота</b>		
		78 год	58 год	190 год
		<b>ІНДЗ- курсова робота</b>		
		-	-	-
		<b>Вид контролю</b>		
		залік	іспит	залік, іспит

**Примітка:** співвідношення кількості аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

- для денної форми навчання - 36% до 64%;
- для заочної форми навчання – 10% до 90 %.



## 2. Мета та завдання дисципліни

**Метою** вивчення навчальної дисципліни є формування у майбутніх фахівців знань процесів тепло - і масообміну, розвиток навиків і вміння використовувати основні закономірності тепломасообміну при розв'язанні конкретних задач теплових розрахунків.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

- *знати* теорію і розуміти фізичну сутність процесів тепломасообміну
- *вміти* застосовувати основні теоретичні положення до розв'язування практичних задач розрахунку і вибору теплотехнічних установок і обладнання, давати аналіз отриманих результатів.

## 3. Програма навчальної дисципліни

### 3-й семестр

### Змістовий модуль 1

### *Основні положення теорії теплопровідності*

#### Тема 1. Вступ до дисципліни

Вступ. Метод і завдання теорії теплообміну. Способи перенесення теплоти: теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання.

#### Тема 2. Теплопровідність при стаціонарному режимі

Температурне поле та градієнт температури. Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності. Диференціальне рівняння теплопровідності та умови однозначності. Стаціонарна теплопровідність через плоску, циліндричну та сферичну стінки. Багат шарові стінки. Одномірні та двомірні задачі теплопровідності.

#### Тема 3. Теплопровідність при нестационарному режимі

Задачі нестационарної теплопровідності. Визначення температурного поля та кількості теплоти при охолодженні (нагріванні) нескінченних пластини, циліндра. Охолодження (нагрівання) тіл скінчених розмірів.

### Змістовий модуль 2

### *Конвекційний теплообмін*

#### Тема 4. Основні положення конвекційного теплообміну.

Загальні положення. Рівняння Ньютона – Ріхмана. Диференціальні рівняння конвекційного теплообміну. Основні теорії пограничного шару. Основи теорії подібності. Ознаки, теореми подібності.



## **Тема 5. Конвекційний теплообмін при вимушеному і вільному русі рідини**

Рівняння подібності теплообміну при русі рідини вздовж плоскої поверхні. Тепловіддача при русі рідини в трубах і каналах. Тепловіддача при поперечному обтіканні однієї труби та пучка труб. Конвекційний теплообмін при вільному русі рідини.

**4-й семестр**

**Змістовий модуль 3**

*Теплопередача*

## **Тема 6. Теплообмін при зміні агрегатного стану**

Опис теплообміну при кипінні: бульбашкове та плівкове кипіння. Кризи кипіння. Кипіння рідини у великому об'ємі. Теплообмін при конденсації. Плівкова та краплина конденсація. Тепловіддача при конденсації на вертикальних поверхнях, на вертикальних і горизонтальних трубах.

## **Тема 7. Теплопередача**

Теплопередача через плоску та циліндричну стінки при граничних умовах третього роду. Критичний діаметр циліндричної стінки. Шляхи інтенсифікації теплопередачі.

**Змістовий модуль 4**

*Теплообмінні апарати*

## **Тема 8. Закони теплового випромінювання**

Основні поняття та визначення. Види променевих теплових потоків. Закони теплового випромінювання. Теплообмін випромінюванням між тілами, які розділені прозорим середовищем. Інтенсифікація та зменшення теплообміну випромінюванням.

## **Тема 9. Теплообмінні апарати**

Призначення, класифікація, схеми теплообмінних апаратів. Основні схеми руху теплоносіїв. Рівняння теплового балансу і теплопередачі. Середньологарифмічний температурний напір. Конструктивний та перевіірочний теплові розрахунки теплообмінників. Порядок розрахунку теплообмінних апаратів.

## **Тема 10. Основи масообміну**



Молекулярна дифузія. Концентраційна термо- і бародифузія. Густина потоку маси. Коефіцієнт дифузії. Конвекційна дифузія. Диференціальні рівняння масообміну. Основні числа подібності масообміну. Масообмін між поверхнею води і повітрям.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна/ заочна форма					
	Усього	у тому числі				
л		пр	лб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
Рік підготовки: 2-й, семестр 3						
<b>Модуль 1</b>						
<b>Змістовий модуль 1. Основні положення теорії теплопровідності</b>						
Тема 1. Вступ до дисципліни	10/10	2/-	-	-	-	8/10
Тема 2. Теплопровідність при стаціонарному режимі	38/35	6/1	4/2	4/2	-	24/30
Тема 3. Теплопровідність при нестаціонарному режимі	24/27	4/-	4/2	-	-	16/25
<b>Разом – зм. модуль 1</b>	<b>72</b>	<b>12/1</b>	<b>8/4</b>	<b>4/2</b>	<b>-</b>	<b>48/65</b>
<b>Змістовий модуль 2. Конвекційний теплообмін</b>						
Тема 4. Основні положення конвекційного теплообміну	21/20	4/-	2/-	-	-	15/20
Тема 5. Конвекційний теплообмін при вимушеному і вільному русі рідини.	27/28	4/1	4/2	4/2	-	15/23
<b>Разом – зм. модуль 2</b>	<b>48</b>	<b>8/1</b>	<b>6/2</b>	<b>4/2</b>	<b>-</b>	<b>30/43</b>
<b>Усього годин (залік)</b>	<b>120</b>	<b>20/2</b>	<b>14/6</b>	<b>8/4</b>	<b>-</b>	<b>135/205</b>
Рік підготовки: 2-й, семестр 4						
<b>Модуль 2</b>						
<b>Змістовий модуль 3. Теплопередача</b>						
Тема 6. Теплообмін при зміні агрегатного стану	22/20	4/-	-	2/-	-	16/20
Тема 7. Теплопередача	18/20	2/1	4/2	-	-	12/17
<b>Разом - зм. модуль 3</b>	<b>40</b>	<b>6/1</b>	<b>4/2</b>	<b>2/-</b>	<b>-</b>	<b>28/37</b>



	1	2	3	4	5	6	7
<b>Змістовий модуль 4. Теплообмінні апарати</b>							
<b>Тема 8. Закони теплового випромінювання</b>	16/15	4/-	2/-	-	-	-	10/15
<b>Тема 9. Теплообмінні апарати</b>	19/20	3/1	4/2	2/2	-	-	10/15
<b>Тема 10. Основи масообміну</b>	15/15	3/-	2/-	-	-	-	10/15
<b>Разом - зм. модуль 4</b>	<b>50</b>	<b>10/1</b>	<b>8/2</b>	<b>2/2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>30/45</b>
<b>Усього годин (іспит)</b>	<b>90</b>	<b>16/2</b>	<b>12/4</b>	<b>4/2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>58/82</b>

## 5. Теми практичних занять

№ теми	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>3-й семестр</b>			
1	Теплопровідність плоскої, циліндричної та сферичної одно- і багат шарових стінок.	4	2
2	Охолодження (нагрівання) нескінченних пластини і циліндра.	2	2
3	Охолодження (нагрівання) тіл скінчених розмірів.	2	-
4	Тепловіддача при вимушеному русі рідини.	4	2
5	Тепловіддача при вимушеному поперечному обтіканні труб.	2	-
	<b>Усього за семестр</b>	<b>14</b>	<b>6</b>
<b>4-й семестр</b>			
6	Теплопередача через плоску та циліндричну стінки.	4	2
7	Теплообмін випромінюванням між твердими тілами розділеними прозорим середовищем	2	-
8	Тепловий розрахунок теплообмінних апаратів	4	2
9	Конвекційна дифузія	2	-
	<b>Усього за семестр</b>	<b>12</b>	<b>4</b>
<b>Разом</b>		<b>26</b>	<b>10</b>





## 6. Теми лабораторних занять

№ теми	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	2	3	4
<b>3-й семестр</b>			
1	Інструктаж з охорони праці при роботі в лабораторії. <b>Лабораторна робота №1.</b> Визначення коефіцієнта теплопровідності твердих матеріалів методом пластини	2	2
2	<b>Лабораторна робота №2.</b> Визначення коефіцієнта теплопровідності ізоляції методом труби	2	-
3	<b>Лабораторна робота №3.</b> Дослідження тепловіддачі при вимушеному русі повітря в трубі	2	-
4	<b>Лабораторна робота №4.</b> Визначення коефіцієнта тепловіддачі горизонтальної труби при вимушеному і вільному русі рідини	2	2
	<b>Усього за семестр</b>	<b>8</b>	<b>4</b>
<b>4-й семестр</b>			
5	<b>Лабораторна робота №5.</b> Визначення коефіцієнта випромінювання електропровідних матеріалів колориметричним методом.	2	-
6	<b>Лабораторна робота №6.</b> Дослідження роботи теплообмінного апарата	2	2
	<b>Усього за семестр</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
	<b>Разом</b>	<b>12</b>	<b>6</b>

## 7. Самостійна робота

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

1. Підготовка до аудиторних занять (0,5 год. на 1 год. аудит. занять ) – 37 години;
2. Підготовка до контрольних заходів ( 6 годин на 1 єврокредит ) – 42 години;
3. Підготовка питань, які не розглядаються під час аудиторних занять – 57 год



## 7.1 Завдання для самостійної роботи

№ теми	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	Коефіцієнт теплопровідності	4	12
2	Теплопровідність плоскої, циліндричної та сферичної багат шарових стінок.	6	16
3	Теплопровідність ребер	4	12
4	Охолодження (нагрівання) тіл нескінченних розмірів.	6	16
5	Тепловіддача при вимушеному русі рідини.	4	12
6	Тепловіддача при вимушеному поперечному обтіканні труб.	4	12
7	Конвекційний теплообмін при вільному русі рідини.	4	12
8	Тепловіддача при кипінні рідини і конденсації пари.	5	10
9	Критичний діаметр циліндричної стінки.	6	16
10	Теплообмін випромінюванням при наявності екранів	4	12
11	Тепловий розрахунок теплообмінних апаратів	6	16
12	Молекулярна та конвекційна дифузія	4	12
<b>Разом</b>		<b>57</b>	<b>158</b>

## 8. Методи навчання

На лекційних заняттях використовуються в певному обсязі мультимедійний проектор і кодоскоп. Для цього застосовується спеціально розроблений короткий (скелетний) конспект лекцій у вигляді окремих карток і прозірок для кожної теми. На картках і прозірках чітко зображені необхідні рисунки, написані основні формули, коротко приведені потрібні визначення.

На практичних заняттях студенти здобувають навички розрахунків процесів передачі теплоти, вчать користуватись довідковою літературою. Лабораторні роботи проводяться на лабораторних установках, і модулюються за допомогою комп'ютерів

## 10. Методи контролю

Для визначення рівня засвоєння студентами навчального матеріалу використовуються такі методи оцінювання знань:

- поточне тестування після вивчення кожного змістового модуля;
- усний захист лабораторних робіт;



## підсумковий залік та підсумковий іспит.

Для контролю знань студентів використовується система зі 100 бальною шкалою оцінювання.

Підсумковий контроль знань студентів денної форми навчання проводиться в кінці 3 семестру шляхом складання заліку, в кінці 4 семестру шляхом складання екзамену.

## 11. Розподіл балів, що отримують студенти

### 11.1. При поточному та підсумковому тестуванні (залік)

Поточне тестування та самостійна робота					Сума
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2		
T1	T2	T3	T4	T5	100
10	34	16	18	22	
60			40		

### 11.2. При поточному та підсумковому тестуванні (екзамен)

Поточне тестування та самостійна робота					Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 3			Змістовий модуль 4			
T6	T7	T8	T9	T10	40	100
12	12	14	14	8		
24			36			

## Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90-100	відмінно	зараховано
82-89	добре	
74-81		
64-73	задовільно	
60-63		
35-59	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни



## 12. Методичне забезпечення дисципліни

1. Методичні вказівки до практичних занять, контрольних та самостійних робіт з дисципліни “ТЕПЛОМАСООБМІН” для студентів напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика», та 6.050602 «Гідроенергетика» денної, заочної та дистанційної форм навчання. /Трофимчук І.П., Куба В.В.- Рівне: НУВГП, 2013. – 48 с. (шифр 02-04-07). <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/6881>

## 13. Рекомендована література

### *Базова*

1. Погорелов А.І. Тепломасообмін (основи теорії та розрахунку): Навчальний посібник для вузів. – Львів: ”Новий Світ-2000”, 2006. – 144 с.
2. Константинов С. М. Тепломасообмін: Підручник. – К.:ВПІ ВПК ”Політехніка”: Інрес, 2005. – 304 с.: іл.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1981. – 416 с.
4. Приходько М. А. Термодинаміка та теплопередача : навч. посіб. / М. А. Герасимчук, Г. Г. Герасимов. – Рівне : НУВГП, 2008. – 250 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1847>

### *Допоміжна*

1. Лабой В.Й. Тепломасообмін. – Львів: Тріада Плюс, 1998. – 260 с.
2. Луцик Р. В. Тепломасообмін. - К.: КНУТД, 2004. – 126 с.
3. Промышленная теплотехника, - К.: ИТТФНАНУ (журнал).

## 14. Інформаційні ресурси

1. Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського/ (Електронний ресурс)  
Режим доступу: [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua)
2. Наукова бібліотека НУВГП – м.Рівне, вул. О.Новака, 75.  
Режим доступу: [nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka](http://nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka)