



Міністерство освіти і науки України

Национальний університет водного господарства та природокористування

Навчально-науковий інститут водного господарства та  
природооблаштування

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин

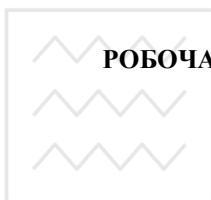
«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної,  
методичної та виховної роботи

\_\_\_\_\_ О.А. Лагоднюк

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**01-06-33**



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

**ТЕРМОДИНАМІКА**

**Thermodynamics**

спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

speciality 192 "Building and civil engineering"

Рівне-2018



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Робоча програма «**Термодинаміка**» для студентів за спеціальністю: 192  
„Будівництво та цивільна інженерія”. 2018 р. – 12 с.

Розробник – Кочмарський В.З., доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин, к.ф-м.н, доцент.

Робоча програма схвалена на засіданні кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин

Зав. кафедри

Протокол від 21.03. 2018 р. № 8.

О.А. Рябенко

Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Схвалено науково-методичною комісією за спеціальністю 192  
„Будівництво та цивільна інженерія”,

Протокол № 5 від 12. 03. 2018 р.

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ Є.М. Бабич

«20» березня 2018р.

© Кочмарський В. З., 2018  
© НУВГП, 2018



## Вступ

Програма «Термодинаміка» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра за спеціальністю 192 Будівництво та інженерія.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є формування теоретичних знань та практичних навичок у студентів, що навчаються за спеціальністю 192. Будівництво та інженерія. Курс «Термодинаміка» має міждисциплінарний характер і є фундаментальним курсом підготовки інженерів-будівельників.

Вивченню термодинаміки передують курси вищої математики, фізики та хімії. Основні поняття потрібні для засвоєння дисциплін: тепломасообмін, будівельна теплофізика, джерела тепlopостачання житлових та промислових споруд, теплові мережі, вентиляція та теплотехнічні вимірювання. Вимоги до знань і умінь визначаються галузевими стандартами освіти України.

## Анотація

Програма передбачає комплексне вивчення інженерної термодинаміки, що ґрунтується на поняттях термодинамічної системи (ТДС), параметрах стану ТДС та вивченні законів і процесів найпростішої ТДС – ідеального газу. Засвоєння емпіричного закону збереження енергії. Розуміння фізичного змісту функцій стану: внутрішньої енергії, ентальпії та ентропії. Оволодіння поняттями оборотних та необоротних процесів та формулюваннями другого начала термодинаміки з використанням понять ентропії, ексергії та анергії. Поняття термодинаміки, зокрема другого начала, є основою для розуміння принципів роботи теплових двигунів, холодильників та компресорів.

Вивчення термодинаміки її основні поняття потрібні для засвоєння дисциплін: тепломасообмін, будівельна теплофізика, джерела тепlopостачання житлових та промислових споруд, теплові мережі, вентиляція та теплотехнічні вимірювання.

**Ключові слова:** термодинамічна система, стан, внутрішня енергія, ентальпія, ентропія, теплові машини.

## Introduction

Program of normative discipline “Thermodynamics” corresponds to educational and professional program for training bachelors by speciality 192 “Building and civil engineering”.

The subject of studies is the formation of theoretical knowledge and practical skills for the students of the speciality 192 “Building and civil engineering”.

The study of the course is preceded by the courses in higher mathematics, physics and chemistry. The course of study “Thermodynamics” has interdisciplinary character and is the fundamental course for training engineers by the speciality “Building and civil engineering”.

## Abstract

Program stipulates complex study of the foundations of engineering terminology based on the concepts of thermodynamic system (TDS), state parameters of TDS and studying the laws and processes of TDS- ideal gas; mastering the empirical law of energy conservation, comprehension of the physical content of state functions; internal energy, enthalpy and entropy; acquiring the concept of circulated and non-circulated processes and formulation of the second principle of thermodynamics using the notions of entropy, exergy and energy; comprehension of the foundations of heat exchange and heat transfer processes.

The study of “Thermodynamics”, its basic notions are necessary for acquiring knowledge in such subjects as heat mass exchange, ventilation and heat technical measurements.

**Key words:** thermodynamic system, state, internal energy, enthalpy, entropy, heat machines.



Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів <b>3.0</b>	19 Архітектура та будівництво	<b>Цикл загальної підготовки</b>	
Модулів <b>1</b>	Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія	<b>Рік підготовки</b>	
Змістовних модулів <b>2</b>		2-й	3-й
		<b>Семестр</b>	
Індивідуальне науково-дослідне завдання - немає		4-й	6-й
		<b>Лекції</b>	
Загальна кількість годин <b>90</b>		16 год.	4 год.
		<b>Практичні</b>	
	немає	немає	
	<b>Лабораторні</b>		
Тижневих годин для: ДФН – 2,3; СРС – 4.1.	Рівень вищої освіти: <b>Бакалавр</b>	16 год.	4 год.
		<b>Самостійна робота</b>	
		58 год.	82
		<b>Індивідуальні завдання</b>	
		немає	немає
<b>Вид контролю</b>			
		залік	залік

### Зауваження.

Співвідношення кількості аудиторних занять та самостійної роботи становить:

- для денної форми навчання: 36 % до 64 %;
- для заочної форми навчання: 9% до 91 %.



**Мета** викладання курсу „Термодинаміка” полягає в наданні студентам знань з теоретичних основ і практичних навиків і вмінь щодо застосування основних законів термодинаміки для успішного засвоєння профільюючих дисциплін.

**Завдання** викладання курсу „Термодинаміка” полягає в тому, щоб студенти оволоділи законами термодинаміки і основними термодинамічними процесами для розуміння принципів роботи теплових машин, до яких відносяться теплогенератори, нагнітачі та холодильники, а також зрозуміли фізику процесів генерації та передачі та транспортування тепла, кондиціювання повітря у робочих і житлових приміщеннях.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен:

**Знати:**

- основні поняття термодинаміки, зокрема ТДС та параметри стану ТДС;
- фізичний зміст функцій стану – внутрішньої енергії, ентальпії та ентропії;
- перший, другий та третій закони термодинаміки;
- основні термодинамічні процеси з ідеальним газом;
- закономірності перетворення енергії – форми передачі енергії у вигляді теплоти і роботи;
- розуміти суть еквівалентності теплоти і роботи та принципову різницю між цими формами обміну енергії;
- особливості необоротних термодинамічних процесів і формулювання другого закону термодинаміки для оборотних та необоротних процесів на мові ентропії;
- особливості поведінки реальних газів порівняно з ідеальним;
- особливості розрахунку процесів з вологим повітрям;
- поняття ексергії та анергії, вміти формулювати другий закон на мові ексергії;
- особливості циклічних процесів та характеристики теплових машин, зокрема теплових двигунів, холодильників та теплових насосів;

**Вміти:**

- кількісно описувати та розраховувати термодинамічні процеси з ідеальним газом;
- розраховувати процеси з вологим повітрям;
- складати теплові (енергетичні баланси) процесів;
- оцінювати ефективність роботи теплових машин, використовуючи енергетичні баланси;
- вміти записувати ексергічні баланси процесів;
- оцінювати ефективність роботи теплових машин, використовуючи ексергетичні баланси;
- вибирати теплові процеси з мінімальними втратами тепла та ексергії.



**Змістовний модуль 1. Основні поняття і закони термодинаміки**

**Тема 1 Основні поняття термодинаміки. Термічні та калоричні параметри стану. Внутрішня енергія, ентальпія та ентропія**

Предмет термодинаміки і особливості термодинамічного методу. Термічні параметри стану термодинамічної системи, рівняння стану. Види термодинамічних систем (ТДС) та їх взаємодія. Внутрішня та повна енергії ТДС. Робота і теплота. Калоричні параметри стану: внутрішня енергія, ентальпія та ентропія. Енергетичні характеристики термодинамічного процесу. Перший закон (начало) термодинаміки.

**Тема 2 Ідеальний газ, рівняння Клапейрона Менделєєва. Суміші ідеальних газів та їх рівняння стану**

Рівняння стану ідеального газу Клапейрона-Менделєєва. Калоричні параметри стану ідеального газу. Суміші ідеальних газів. Рівняння стану суміші. Параметри, що характеризують стан суміші газів. Процеси з ідеальним газом.

**Тема 3 Теплоємності термодинамічних систем**

Класифікація теплоємностей. Диференціальні співвідношення між теплостями та термодинамічними параметрами. Теплоємності ідеальних газів. Залежність теплоємності реальних ТДС від температури. Середні теплоємності. Теплоємність суміші ідеальних газів.

**Тема 4 Другий та третій закони термодинаміки**

Основні формулювання другого закону термодинаміки. Оборотні та необоротні процеси. Математичне формулювання другого закону термодинаміки. Основна нерівність термодинаміки. Ентропія ізольованої системи. Ексергія та анергія. Друге начало термодинаміки на мові ексергії. Статистичне розуміння другого закону термодинаміки. Третій закон термодинаміки.

**Змістовний модуль 2. Термодинаміка реальних газів та потоків речовини. Процеси нагнітання. Теплові машини.**

**Тема 5 Термодинамічні властивості реальних газів. Вологе повітря**

Рівняння стану реальних газів. Водяна пара та її характеристики. Три стадії отримання перегрітої пари. Використання „h-s” діаграми для дослідження процесів з водяною парою. Основні означення для вологого повітря. Ентальпія вологого повітря. „h-d” діаграма вологого повітря. Процеси з вологим повітрям.

**Тема 6 Термодинамічний аналіз потоків газу і пари**

Основні поняття, дифузори та сопла. Перший закон термодинаміки для потоку речовини. Наявна питома робота. Критичний тиск, критична швидкість витікання та максимальна витрата газу. Число Маха. Витікання газів і пари. Необоротне адіабатне витікання. Зображення процесу витікання на термодинамічних діаграмах.



## Тема 7 Нагнітання газів і пари

Класифікація і принципи роботи компресорів. Термодинамічна та технологічна схеми нагнітання. Індикаторна діаграма, мертвий простір, робота нагнітання та ККД компресора. Потужність двигуна компресора. Багатоступеневе стиснення. Системи охолодження багатоступеневих компресорів.

## Тема 8 Термодинамічний аналіз роботи теплових машин.

Класифікація циклів. Різні види теплових машин. Цикл Карно. Прямий, зворотний, еквівалентний і регенеративний цикли Карно. Абсолютна термодинамічна шкала температур.

### 4 Структура навчальної дисципліни "Термодинаміка"

Назви змістовних модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	лекцій	лаб. роб.	прак. зан.	сам. роб.	усього	лекцій	лаб. роб.	інд. роб.	сам. роб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Змістовний модуль I. Основні поняття і закони термодинаміки.</b>										
<b>Тема 1.</b> Основні поняття термодинаміки. Поняття ідеального газу як найпростішої ТДС. Рівняння стану.	11	2	2	-	7	11	-	-	-	11
<b>Тема 2.</b> Термічні та калоричні параметри стану і зв'язок між ними. Внутрішня енергія, ентальпія та ентропія.	11	2	2	-	7	11	-	2	-	9
<b>Тема 3.</b> Ідеальний газ, його суміші та їх рівняння стану. Процеси з ідеальним газом.	11	2	2	-	7	11	-	-	-	11
<b>Тема 4.</b> Другий та третій закони термодинаміки. Теплові машини та холодильники.	12	2	2	-	8	12	2	-	-	10
<b>Разом за змістовним модулем 1</b>	<b>45</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>29</b>	<b>45</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>41</b>

Змістовний модуль 2. Термодинаміка реальних газів та потоків речовини. Процеси нагнітання. Теплові машини.										
<b>Тема 5.</b> Термодинамічні властивості реальних газів.	11	2	2	-	7	11	-	1	-	10
<b>Тема 6.</b> Термодинамічні властивості вологого повітря.	11	2	2	-	7	11	1	-	-	10
<b>Тема 7.</b> Термодинамічний аналіз потоків газу і пари.	11	2	2	-	7	11	-	-	-	11
<b>Тема 8.</b> Нагнітання газів і пари. Багатоступеневі компресори.	12	2	2	-	8	12	1	1	-	10
<b>Разом за змістовним модулем 2</b>	<b>45</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>29</b>	<b>45</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>41</b>
<b>Всього годин</b>	<b>90</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>58</b>	<b>90</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>82</b>

### 5 Теми лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		ДФН	ЗФН
<b>Змістовний модуль 1</b>			
1.	<b>Тема 1.</b> Інструктаж з техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт. Перевірка рівняння стану і газових законів.	2	
2.	<b>Тема 2.</b> Дослідження теплоємностей газів.	2	1
3.	<b>Тема 3.</b> Дослідження термодинамічних процесів.	2	1
4.	<b>Тема 4.</b> Процеси з водяною парою.	2	
<b>Разом за змістовним модулем 1</b>		<b>8</b>	
<b>Змістовний модуль 2</b>			
5	<b>Тема 5.</b> Дослідження процесів з вологим повітрям.	2	
6.	<b>Тема 6.</b> Термодинамічне дослідження двоступеневого компресора.	3	1



7.	Тема 7. Термодинамічне дослідження карбюраторного ДВЗ.	3	1
Разом за змістовним модулем 2		8	
Разом		16	4

### 6 Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		ДФН	ЗФН
1.	Суміші ідеальних газів. Термічне рівняння стану сумішей ідеальних газів	2	1
2.	Теплоємність газових сумішей.	2	1
3.	Процеси з ідеальним газом. Політропні процеси.	2	1
4	Теплоємності термодинамічних систем. Теплоємності ідеального газу.	2	
5	Таблиці параметрів рідин і пари. Друге начало термодинаміки. Ексергія та анергія. Ексергічні ККД.	2	1
6	Температура мокрого термометра. Температура адіабатного насичення вологого повітря	2	1
7	Вологе повітря. Процеси з вологим повітрям. Кондиціювання повітря.	2	1
8	Аналіз потоків газу. Ексергія потоку речовини.	2	
9	Індикаторна діаграма поршневого компресора. Ізотермічний і адіабатний ККД компресора.	2	
10	Циклічні процеси та теплові машини і холодильники. Теплові насоси.	2	
11	Парокомпресійні холодильні установки.	2	
<b>Разом</b>		<b>22</b>	<b>16</b>

**Зауваження.** З 58 годин на самостійну роботу ДФН 16 планується на оформлення звітів до лабораторних робіт (дві год. на кожну роботу), 16 год. на вивчення лекційного матеріалу та 22 години на самостійне вивчення тем за списком 6.

Для ЗФН з 82 год. для самостійної роботи: 8 год. на оформлення лаб. роб. 44 год. на вивчення тем за I та II модулями і 30 год. на вивчення тем за списком 6.



## 6.1 Оформлення звіту про самостійну роботу

Підсумком самостійної роботи вивчення дисципліни „Термодинаміка ” є складання письмового звіту за темами вказаними у таблиці.

Загальний обсяг звіту визначається з розрахунку 1,5 сторінки на 1 год. самостійної роботи.

Звіт включає план, основну частину, висновки та список літератури. Оформлюється на стандартному папері формату А4 (210 x 297) з одного боку. Поля: верхнє, нижнє та ліве - 20 мм, праве - 10 мм. Звіт може бути рукописним або друкованим і виконується українською мовою. Захист звіту про самостійну роботу відбувається у терміни, спільно обумовлені студентом і викладачем.

## 7 Методи навчання

На лекційних заняттях використовується мультимедійне обладнання. Для цього підготовлено конспект лекцій в електронній формі, електронні діаграми і схеми процесів відповідно до тем. Лабораторні роботи виконуються на діючих моделях установок відповідно до методичних вказівок для виконання робіт.

## 8 Методи контролю

Поточний контроль знань студентів з навчальної дисципліни виконується у письмовій формі. Контрольні завдання за змістовим модулем включають тестові питання та одну задачу.

Контроль самостійної роботи проводиться:

з теоретичного матеріалу – шляхом перевірки тестових відповідей до питань з поточних тем і конспектів;

з лабораторних занять – перевіркою виконаних завдань та відповідей на контрольні питання в усній формі;

Усі форми контролю включено до 100-бальної шкали оцінки.

## 9 Розподіл балів, які отримують студенти при поточному та підсумковому тестуванні (залік)

Поточне тестування та самостійна робота								Сума
Змістовний модуль 1				Змістовний модуль 2				
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	100
12	13	12	13	12	13	12	13	



## 10 Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Для заліку
90 – 100	зараховано
82-89	
74-81	
64-73	
60-63	
35-59	не зараховано з можливістю повторної передачі
0-34	не зараховано з обов'язковим повторним вивчення дисципліни

## 11 Методичне забезпечення

Методичне забезпечення навчальної дисципліни складається з:

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технічна термодинаміка» для студентів спеціальності 6.050602 «Гідроенергетика». Частина 1 / І.П. Трофимчук, О.П. Костюк, - Рівне: НУВГП, 2013 р. - 44 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/042-127/eprint/6876>
2. Термодинаміка. Конспект лекцій. Кочмарський В.З. *(на електронному та паперовому носіях)* для всіх тем курсу, у тому числі теми для самостійного вивчення.
3. Пакети тестових завдань з кожної теми та загалом для всього курсу дисципліни.
4. Програмне забезпечення дисципліни для розрахунків на ЕОМ.
5. Тестова програма перевірки знань студентів «TEST TTD».

## 12 Рекомендована література

### Базова

1. Буляндра О. Ф. Технічна термодинаміка: Підручник для студентів енергетичних спец. вищ. навч. закл. – 2-ге вид., випр. – К.: Техніка, 2006. – 320 с.
2. Пеньков В.І. Технічна термодинаміка: Навчальний посібник / В.І. Пеньков. - Рівне: НУВГП, 2010. - 209 с. / [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ep3.nuMTn.edu.ua/1683/>.
3. Приходько М. А. Термодинаміка та теплопередача: Навчальний посібник / М. А. Приходько, Г. Г. Герасимов. - Рівне: НУВГП, 2008. - 250 с.: іл. / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://ep3.nu4m.edu.ua/1847/>.
4. Герасимов Г. Г. Теоретичні основи теплотехніки: Навчальний посібник / Г. Г. Герасимов. — Рівне : НУВГП, 2011. - 382 с. : іл. / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://ep3.nuMTn.edu.ua/4737/>,

5. Алабовский А. Н. Недужий И. А. Техническая термодинамика и теплопередача. – К.: Вища школа, 1990. –256 с.

### Допоміжна

1. Ривкин. С. Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара. Справочник / С. Л. Ривкин, А. А. Александров. - Москва: Энергия, 1984. - 80 с.
2. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / Под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. - М.: Энергоиздат, 1983. - 552 с.
3. Ривкин С. Л. Термодинамические свойства газов. Справочник. 4-е изд. / С. Л. Ривкин. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 288 с.
4. Російсько-український словник з теплотехніки та газотехніки. 2-ге вид. Укл. Шелудько І.М. Київ,- Техніка. -1991.
5. Куличенко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. Киев. - Техника, 1990.
6. Ахаров А.М. и др. Теплотехника. Ред. В.И. Крутов. М., - Машиностроение. - 1986.
7. Константінов С.М., Луцик Р.В. Збірник задач з технічної термодинаміки, Київ. - 2002.

### 13 Інформаційні ресурси

1. Наукова бібліотека НУВГП (м. Рівне, вул. Олекси Новака, 75) / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka>.
2. Рівненська обласна універсальна наукова бібліотека (м. Рівне, пл. Короленка, 6) / [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://libr.rv.ua>.
3. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського (м. Київ, Голосіївський проспект, 3) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/>.
4. Державна науково-технічна бібліотека України (м. Київ, вул. Антоновича, 180) / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://gnbt.gov.ua/>.
5. Науково-технічна бібліотека ім. Г.І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ, Проспект Перемоги, 37)/ [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.library.kpi.ua/>. <http://culonline.com.ua/>. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2145>.
6. Національна бібліотека України імені Ярослава Мудрого (м. Київ, вул. Грушевського, 1) / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://elib.npl.org/>.
7. Науково-технічна бібліотека Національного університету «Львівська політехніка» (м. Львів, вул. Професорська. 1 ) у [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://library.lp.edu.ua/ftp>.
8. Науково-технічна бібліотека Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків, вул. Кирпичева, 2) / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [bl@kpi.kharkov.ua](mailto:bl@kpi.kharkov.ua), <http://repositorv.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/2810>