

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
(назва факультету, інституту)

Кафедра ядерної фізики та високих енергій



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**Основи термодинаміки та теплофізики ядерних реакторних установок**

	(повна назва навчальної дисципліни)	
	<b>для студентів</b>	
галузь знань	<b>10 «Природничі науки»</b>	
	(шифр і назва)	
спеціальність	<b>104 «Фізика та астрономія»</b>	
	(шифр і назва спеціальності)	
освітній рівень	<b>бакалавр</b>	
	(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)	
освітня програма	<b>Фізика</b>	
	(назва освітньої програми)	
спеціалізований вибірковий блок (за наявності)	<b>«Ядерна енергетика»</b>	
	(назва спеціалізації)	
вид дисципліни	<b>вибіркова</b>	
	Форма навчання	<u>денна</u>
	Навчальний рік	<u>2022/2023</u>
	Семестр	<u>8</u>
	Кількість кредитів ECTS	<u>4</u>
	Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
	Форма заключного контролю	<u>екзамен</u>

Викладачі: к. ф.-м. н., доцент кафедри механіки суцільних середовищ О.М. Харитонов.  
(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

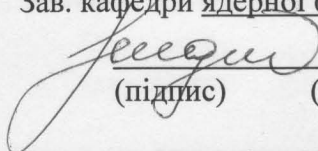
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

Розробник: *О.М.Харитонов.*, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри механіки суцільних середовищ

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри ядерної фізики та високих енергій

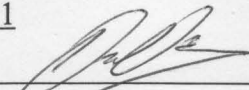
 (Ігор Каденко)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 14 від «03» червня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією факультету  
фізичного факультету

Протокол від «10» червня 2022 року №11

Голова науково-методичної комісії

 (Олег Оліх)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## **ВСТУП**

**Мета дисципліни** – Метою дисципліни «Основи термодинаміки та теплогідроліка ядерних реакторних установок» є надання студентам:

- необхідних базових теоретичних знань з теорії теплопровідності, теорії конвективного теплообміну в однофазних та двофазних потоках з урахуванням специфіки ядерних енергетичних установок;
- практичних навичок виконання теплогідролічних розрахунків;
- вміння ставити і розв'язувати чисельними та аналітичними методами задачі теплогідроліки, проводити аналіз отриманих результатів.

**Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

- Успішне опанування основних курсів фізики: «Механіка», «Молекулярна фізика», «Електрика», «Оптика», «Математична фізика».
- Вміти розв'язувати задачі з основних курсів фізики.
- Володіти елементарними навичками роботи на комп'ютері по пошуку інформації в мережі Інтернет.

### **1. Анотація навчальної дисципліни:**

Приділяється увага аналітичним методам розв'язання задач теплопровідності та конвективного теплообміну. Дається виведення рівняння теплопровідності та його записи в основних системах координат. Досліджуються розв'язки найпростіших одновимірних задач стаціонарної теплопровідності. Аналізуються задачі одновимірної нестационарної теплопровідності для тіл класичної геометрії. Як приклад задачі неодновимірної нестационарної теплопровідності розглядається задача про тепловий удар на корпус реактора. Розглядається система рівнянь конвективного тепломасообміну для однофазного теплоносія. Вводяться основні критерії подібності і визначається їх фізичний зміст. Розглядаються задачі конвективного теплообміну при ламінарному та турбулентному русі теплоносія по трубах, що допускають аналітичне дослідження.

Висвітлюються моделі та методи дослідження теплогідролічних процесів для двофазного теплоносія. Розглянута система рівнянь конвективного теплообміну у двофазних потоках. Даються основи теорії одновимірних двофазних потоків. Описані основні моделі замикаючих співвідношень. Розглянута методика чисельного розв'язання задач тепло гідроліки, прийнята у сучасних кодах, що застосовуються при аналізі безпеки ядерних енергетичних установок.

Навчальна дисципліна «Основи термодинаміки та теплогідроліка ядерних реакторних установок» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр".

Курс «Основи термодинаміки та теплогідроліка ядерних реакторних установок» дозволить значно покращити професійну підготовку студентів кафедри ядерної фізики, що пов'язано з тим, що в курсі викладаються теоретичні основи розрахунків теплогідролічних процесів в системах ядерної енергоустановки. Зокрема, приділяється увага аналітичним методам розв'язання задач теплопровідності та конвективного теплообміну. Дається виведення рівняння теплопровідності та його записи в основних системах координат. Досліджуються розв'язки найпростіших одновимірних задач стаціонарної теплопровідності. Аналізуються задачі одновимірної нестационарної теплопровідності для тіл класичної геометрії. Як приклад задачі неодновимірної нестационарної теплопровідності розглядається задача про тепловий удар на корпус реактора. Розглядається система рівнянь конвективного тепломасообміну для

однофазного теплоносія. Вводяться основні критерії подібності і визначається їх фізичний зміст. Розглядаються задачі конвективного теплообміну при ламінарному та турбулентному русі теплоносія по трубах, що допускають аналітичне дослідження.

Висвітлюються моделі та методи дослідження теплогідрравлічних процесів для двофазного теплоносія. Розглянута система рівнянь конвективного теплообміну у двофазних потоках. Даються основи теорії одновимірних двофазних потоків. Описані основні моделі замикаючих співвідношень. Розглянута методика чисельного розв'язання задач тепло гідрравліки, прийнята у сучасних кодах, що застосовуються при аналізі безпеки ядерних енергетичних установок.

**4. Завдання (навчальні цілі)** – Спецкурс «Основи термодинаміки та теплогідрравліка ядерних реакторних установок» надасть студентам фундаментальні знання з фізичної природи теплогідрравлічних процесів, розвине розуміння характеру їх протікання, з урахуванням специфіки роботи ЯЕУ, дозволить оволодіти сучасними аналітичними та чисельними методами проведення тепло гідрравлічних розрахунків. Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОНП «Фізика» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних компетентностей:

Інтегральних:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

Загальних:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК4. Здатність бути критичним і самокритичним.

ЗК6. Навички міжособистісної взаємодії.

Фахові:

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

**5. Результати навчання за дисципліною:**

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	<i>Знати основи теорії теплопровідності, конвективного теплообміну в однофазних та двофазних потоках, основні моделі та методи дослідження теплогідрравлічних процесів.</i>	<i>лекція</i>	<i>Колоквіум, тес т</i>	<i>50</i>
2.1	<i>Вміти розв'язувати задачі тепло гідрравліки за допомогою аналітичних та чисельних методів</i>	<i>Семінарські заняття, лабораторні роботи</i>	<i>Контрольна робота, тест</i>	<i>50</i>

\*

\*

--	--	--	--

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)**

<b>Результати навчання дисципліни</b>	<b>1.1</b>	<b>2.1</b>
<b>Програмні результати навчання</b>		
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних 8 фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та астрономії.	+	
ПРН3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.		+
ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.	+	+
ПРН15. Знати, аналізувати, прогнозувати та оцінювати основні екологічні аспекти загального впливу промислово-технологічної діяльності людства, а також окремих фізичних і астрономічних явищ, наукових досліджень та процесів (природних і штучних) на навколишнє природне середовище та на здоров'я людини.	+	+
ПРН16. Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.	+	+
ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.	+	+
ПРН28. Мати уявлення про трансдисциплінарний шлях розвитку науки та його значення для вибору майбутньої освітньої траєкторії.	+	+

## 8. Схема формування оцінки:

**8.1 Форми оцінювання студентів:** (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

### Змістовий модуль 1

1. Усна відповідь за завданням самостійної роботи або відповідь на запитання протягом лекції (максимум – 4 бали).

2. Робота на семінарському занятті (максимум – 16 балів)

3. Модульна контрольна робота – максимум 10 балів

### Змістовий модуль 1

1. Усна відповідь за завданням самостійної роботи або відповідь на запитання протягом лекції (максимум – 4 бали).

2. Робота на семінарському занятті (максимум – 16 балів)

3. Колоквіум – максимум 10 балів

- Підсумкове оцінювання у формі заліку (підсумкова кількість балів з дисципліни (максимум 100 балів), яка визначається як сума (проста або зважена) балів за систематичну роботу впродовж семестру..

	Семестрова кількість балів	ПКР (підсумкова контрольна робота) чи/або залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	40	20	60
Максимум	60	40	100

## 8.2 Організація оцінювання:

### Шкала відповідності

Зараховано	60-100
Не зараховано	0-59

## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ

№ теми	Назва теми I семестр	Кількість годин			
		Лекції	Семинарські заняття	Самостійна робота	Інші форми контролю
<b>Змістовий модуль 1 „Аналітичні методи розв’язання задач теплогідроліки”</b>					
1	Прикладні задачі теплопроводності	6	2	15	
2	Прикладні задачі конвективного теплообміну	6	2	15	
Модульна контрольна робота				2	
<b>Змістовий модуль 2 “Теплогідравліка двофазних потоків”</b>					
3	Рівняння теплогідроліки двофазного теплоносія	6	2	15	
4	Замикаючі співвідношення	6	2	16	
5	Чисельне розв’язання задач теплогідроліки двофазних потоків	6	2	15	
Колоквіум				2	
Всього годин		<b>30</b>	<b>10</b>	<b>80</b>	

**Загальний обсяг 120 год.**, в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Семинари – **0 год.**

Практичні заняття – **10 год.**

Лабораторні заняття - **0 год.**

Тренінги - **0 год.**

Консультації – **0 год.**

Самостійна робота - **80 год.**

### СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

**а) основна:**

1. Теория тепломассообмена: Учебник для вузов/ С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др.; под ред. А.И. Леонтьева.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.-683с.
2. Петухов Б.С., Генин Л.Т., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. - М.:Энергоатомиздат,1986.-472с.
3. Каденко І.М., Харитонов О.М., Єрмоленко Р.В. Основи теплогідроліки реакторних установок: навч. посібник. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2010.-359с.

**б) додаткова:**

4. Беляев Н.М. Основы теплопередачи. – К.:Вища школа, 1989.-343с.

5. Кузнецов Ю.Н. Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов. - М.:Энергоатомиздат,1989.-296с.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.:Наука,1973.-848с.
7. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. - М.:Наука,1987, т.1.-464с.
8. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. - М.:Мир,1972.-440с.
9. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. – М.: Мир, 1990.-Т.1,2.
10. CATHARE 2 v2.5\_2 mod 8.1: Dictionary of Directives and Operators. DEN/DANS/DM2S/STMF/LMES/RT/11-004/A, 2011, 681p.
11. RELAP5-3D Code Manual. Volume I. Code Structure, System Models and Solution Methods. INEEL-EXT-98-00834 Revision 1.3a February 2001, 540p.