

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
(назва факультету, інституту)

Кафедра \_ ядерної фізики та високих енергій



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**Конструювання та системи ядерно-енергетичних**

**установок**

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

**10 «Природничі науки»**

(шифр і назва)

**104 «Фізика та астрономія»**

(шифр і назва спеціальності)

**бакалавр**

(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)

**Фізика**

(назва освітньої програми)

**«Ядерна енергетика»**

(назва спеціалізації)

**вибіркова**

галузь знань

спеціальність

освітній рівень

освітня програма

спеціалізований вибірковий блок  
(за наявності)

вид дисципліни

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2022/2023

Семестр

8

Кількість кредитів ECTS

3

Мова викладання, навчання  
та оцінювання

українська

Форма заключного контролю

залік

Викладач: докт. фіз.-мат. наук, професор І.М. Каденко;

(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)

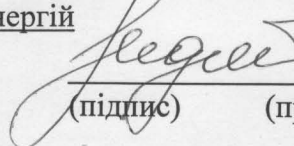
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

Розробники: *І.М. Каденко* докт. фіз.-мат. наук, професор;

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри ядерної фізики та високих енергій

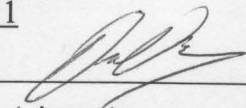
 (Ігор Каденко)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

**1. Мета дисципліни** – Метою дисципліни "Конструювання та системи ядерно-енергетичних установок" є набуття студентами знань щодо фундаментальних основ функціонування та особливостей реалізації конкретних проектів ядерних енергетичних установок, фізичних та конструкційних особливостей ядерних реакторів на прикладі ВВЕР та їх застосування для забезпечення експлуатації АЕС.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. Успішне опанування загальних курсів "Теорія ймовірностей", "Диференціальні рівняння", "Ядерна фізика" а також наступних спеціального курсу: "Вступ до ядерної інженерії", "Дозиметрія", "Ядерно-фізичні аспекти ядерних реакторів та термоядерних реакторів".

2. Вміти робити оцінки щодо основних фізичних процесів у нейтронній фізиці, ядерній фізиці, молекулярної фізики, а також розв'язувати задачі в рамках загальних математичних курсів, а також курсів фізики та спеціальних курсів.

3. Володіти навичками роботи на комп'ютері щодо інформаційного пошуку в мережі Інтернет, а також числового вирішення математичних задач..

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна " Конструювання та системи ядерно-енергетичних установок " є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр".

Курс " Конструювання та системи ядерно-енергетичних установок " дозволить значно покращити професійну підготовку студентів кафедри ядерної фізики, що пов'язано з набуттям нових навичок студентами для глибокого розуміння ядерно-фізичних та теплогідравлічних процесів, які відбуваються під час роботи ядерного енергоблоку для забезпечення використання ядерної енергії в енергетиці, медицині, прикладних та фундаментальних дослідженнях.

**4. Завдання (навчальні цілі)** – Сформувані у студентів уявлення про сучасні галузі застосування ядерної енергії. 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:

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК10. Прагнення до збереження навколишнього середовища.

#### Фахові:

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.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК5. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

ФК14. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

### **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</i>
--	-------------------------------------	--------------------------	-------------------------------

\*

Код	Результат навчання			оцінці з дисципліни
1.1	<i>Знати фізичні основи експлуатації ядерних енергетичних установок, типові конструкторські рішення на прикладі ядерної енергетичної установки ВВЕР-1000, а також розуміти особливості роботи обладнання для забезпечення експлуатації АЕС.</i>	<i>лекція</i>	<i>Контрольні завдання</i>	50
2.1	<i>Вміти проводити оціночні розрахунки величин, що обґрунтовують експлуатацію ядерної енергетичної установки, проводити аналіз фізичних процесів, що мають місце під час роботи ядерно-енергетичних установок, а також запропонувати фізичні реалізації окремих конструкторських рішень ядерно-енергетичних установок.</i>	<i>лекція</i>	<i>Контрольні завдання</i>	50

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

Результати навчання дисципліни		1.1	2.1
<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.		
--	--	--

## 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:

1. Опитування при проведенні лекційних занять (максимум – 50 балів).

2. Контрольні роботи (максимум – 50 балів).

- підсумкове оцінювання (у формі заліку, у формі екзамену, у випадку комплексного екзамену)

- 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. Залік виставляється за результатами роботи студента впродовж усього 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

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	Лабораторні заняття	Самостійна робота
1	Вступ. Особливості ядерних реакцій на ядрах, що діляться. Основні типи реакцій на урані-235. Нукліди як ядерне паливо. Спектр нейтронів поділу. Виділення енергії при поділі ядер. Швидкість генерації теплової енергії. Перерізи та характеристики матеріалів, що діляться. Ефективний коефіцієнт розмноження. Виведення ЯЕУ в критичний стан.	2	-	4
2	Основні характеристики обладнання ЯЕУ. Класифікація ЯЕУ. Принципи та основні засади конструювання ЯЕУ. Компонівка АкЗ. Вимоги до ядерного палива. Конструкція твел-ів.		2	3
3	Ядерне паливо та активна зона реакторів ВВЕР-1000. Вимоги до ядерного палива. Конструкція палива у тепловиділяючому елементі (твел). Твел-и ЯЕУ ВВЕР-1000. Конструкція твел-ів. Зміна параметрів твел-ів. Тепловиділяючі збірки (ТВЗ) ЯЕУ ВВЕР-1000. Головка ТВЗ, кластери поглинаючих стрижнів. Покоління ТВЗ. Особливості експлуатації касет, схема розміщення твел-ів у ТВЗ. Характеристики активної зони ВВЕР-1000. Компонування активної зони ТВЗ та органами регулювання.	2	-	3
4	Компівонка, корпус та внутрішньо корпусні пристрої реактору ВВЕР-1000. Компівонка енергоблоку ВВЕР-1000/В320. Загальні характеристики ВВЕР-1000. Реактор ВВЕР-1000: корпус реактору, верхній блок, внутрішньо корпусні пристрої – шахта реактору, блок захисних труб, вигорodka. Схема циркуляції теплоносія та підключення системи аварійного охолодження активної зони.	2	2	2
5	Контроль та регулювання ВВЕР-1000: загальні відомості, склад системи управління та захисту. Апаратура контролю нейтронного потоку: призначення, склад, пристрої детектування, розподіл блоків детектування в каналах біологічного захисту ВВЕР-1000. Робочі органи системи управління та захисту (СУЗ). Інтегральна ефективність груп поглинаючих стрижнів СУЗ. Особливості регулювання ВВЕР-1000. Картограма розміщення органів регулювання в активній зоні ВВЕР-1000. Запас реактивності. Рідинне регулювання реактивності. Концепція вигоряючих поглиначів.	2	2	2
6	Контроль та регулювання ВВЕР-1000. Система внутрішньо реакторного контролю. Система внутрішньо реакторного контролю ВВЕР-1000 (СВРК). Склад та узагальнена схема, основні функції, вхідна та вихідна інформація, типи датчиків. Сигнали, що надходять до СВРК. Автоматичний регулятор потужності. Пристрій розвантаження та обмеження потужності. Попереджувальний захист. Аварійний захист. Система прискореного захисту.		-	2
7	Обладнання реакторного відділення ВВЕР-1000. Загальне компівонування блоку з ВВЕР-1000. Технологічна схема енергоблоку. Принципова схема першого контуру. Системи реакторного відділення. Головний циркуляційний трубопровід. Головний циркуляційний насос. Парогенератори. Система компенсації тиску в I контурі. Система ІЗК. Барботажний бак. Розташування обладнання I контуру	2	2	2

8	Обладнання другого контуру. Теплова схема другого контуру. Система основної живильної води. Система допоміжної живильної води. Система аварійної живильної води. Систем паропроводів свіжої пари. Системи безпеки другого контуру. Швидкі редуційні установки скиду пари (БРУ-СН, БРУ-К, БРУ-А). Турбіна та конденсатор. Система захисту другого контуру від перевищення тиску.		-	2
9	Системи безпеки першого контуру ВВЕР-1000. Системи безпеки ЯЕУ ВВЕР-1000 – перший контур - : система аварійного охолодження зони; система аварійно-планового розхолодження; система продувки-підживлення та борного регулювання; пасивна частина системи аварійного розхолодження зони; система аварійного охолодження зони високого тиску; систем аварійного охолодження зони низького тиску; система паро–газо видалення.	2	2	2
10	Ядерна енергетична установка ВВЕР-440/В-213. Теплова схема установки. Склад реакторної установки. Реактор та внутрішньо корпусні пристрої. Основні робочі параметри. Касети реакторів ВВЕР-440. Тепло гідравлічні характеристики активної зони. Головні запірні засувки та підключення до реактору гідро ємностей САОЗ.	2	-	4
11	Ядерні енергетичні установки легко водні під тиском - РWR. Принципова схема реакторів РWR. Компонування основного обладнання. Паливні касети. Схема завантаження палива. Система управління та захисту. Розміщення груп органів регулювання. Спрацювання аварійного захисту. Корпус реактора та внутрішньо корпусні пристрої. Компенсатор тиску. Парогенератори. Запас реактивності. Особливості експлуатації.		-	4
12	Ядерно-енергетичні установки на легкій воді - ВWR. Переваги та особливості киплячих реакторів. Принципова схема реактору ВWR. Реактор ВК-50. Шляхи збільшення одиничної встановленої потужності ЯЕУ з ВWR. Компонування АЕС “Browns Ferry-2”. Реактор та внутрішньо реакторні пристрої ВWR. Циркуляція теплоносія в ВWR. Тепловиділяюча збірка та контрольні стрижні ВWR. Компонування активної зони ВWR. Система паропроводів свіжої пари. Конструкції захисних оболонок. Система аварійного захисту. Запас реактивності. Особливості експлуатації ВWR. Особливості роботи обладнання під час повного знеструмлення енергоблоків киплячих реакторів на прикладі АЕС “Фукусіма-Даїчі”.		2	4
13	Ядерно-енергетичні установки з РБМК-1000. Принципова схема роботи енергоблоку з РБМК-1000. Реактор та внутрішньо корпусні пристрої. Призначення та склад КМПЦ. Технологічні канали. Паливо РБМК-1000. Барабан-сепаратор. Система управління та захисту. Органи регулювання. Розподіл органів регулювання між групами. Конструкція поглинаючого стрижня. Газовий контур. Система контролю цілісності циркуляційного контуру. Система аварійного розхолодження реактору. Система локалізації аварії. Контроль потужності реакторної установки.	2	2	4
<b>ВСЬОГО</b>		<b>16</b>	<b>14</b>	<b>60</b>

**Загальний обсяг 90 год.**, в тому числі:

Лекцій – **16 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – 0 год.  
Лабораторні заняття - 14 год.  
Тренінги - 0 год.  
Консультації – 0 год.  
Самостійна робота - 60 год.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

### *Основна: (Базова)*

1. С.В.Широков “Ядерные энергетические реакторы”. К., 1997.-284 с.
2. С.В.Широков “Нестационарные процессы в ядерных реакторах ”. К., 2002.-286 с.
3. А.Н.Климов. Ядерная физика и ядерные реакторы. М.:Энергоатомиздат, 1985. – 344 с.;
4. А.М. Афров, С.А. Андрущечко, В.Ф. Украинцев и др. - ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность: М.: Университетская книга, Логос, 2006.-488 с.;
5. R. A. Knief. Nuclear Engineering: Theory and Technology of Commercial Nuclear Power. Taylor&Francis, 1992, 772 p.
6. J.K. Shultis, R.E.Faw. Fundamentals of Nuclear Scienc and Engineering. Marcel Dekker, Inc., 2002, 518 p.
7. Dan J. Cacuci (Ed.) Handbook of Nuclear Engineering. Vols.1-4. Springer, 2010, 3642 p.

### *Додаткова:*

8. База данных по ядерной паропроизводящей установке”, РАЭС-1, 2000 г.
9. База данных по ядерной паропроизводящей установке”, ЗАЭС-5, 2000 г.
10. “WWER-1000 reactor simulator: workshop material”, IAEA 2003.
11. Проектная документация реакторов РБМК-1000 и РБМК-1500.
12. “Атомная техника за рубежом”- періодичне видання.

### *В тому числі й інтернет ресурси*

13. <http://www.nrc.org>
14. <http://www.snrcu.gov.ua>
1. [www.iaea.org](http://www.iaea.org)