



Моделювання кінетики активної зони ядерних реакторів

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

1) Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>143 Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Атомні електричні станції</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній</i>
Об'єм дисципліни	<i>5 кредитів ЄКТС (150 годин), 36 години лекцій, 18 годин практичні заняття, 96 годин самостійна робота</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен, МКР, РР</i>
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н., ст.викладач, Овдієнко Юрій Миколайович, у.ovdienko@gmail.com</i> Практичні заняття: <i>к.т.н., ст.викладач, Овдієнко Юрій Миколайович, у.ovdienko@gmail.com</i>
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=7382

2) Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Предмет навчальної дисципліни *процедура математичного моделювання кінетики активної зони ядерних реакторів*

Основною задачею в атомній енергетиці є обґрунтування безпеки АЕС та її основного елементу - реакторної установки. Розробка таких обґрунтувань передбачає використання відповідних розрахункових методів та програм дослідження ряду перехідних та аварійних режимів експлуатації, що супроводжуються значними просторовими деформаціями поля енерговиділення. Дослідження перехідних і аварійних режимів експлуатації енергетичних реакторів є однією з найважливіших задач в аналізі безпеки АЕС. Як правило, в цих режимах відбувається просторовий перерозподіл ряду параметрів активної зони, що призводить у багатьох випадках до несиметричного просторово-часового розподілу поля енерговиділення в активній зоні. З урахуванням роботи реактора в автоматичному режимі підтримки потужності просторові деформації можуть відбуватися без зміни інтегральних величин (наприклад, потужність реактора підтримується системою регулювання на заданому рівні), але бути настільки значними, що локальні питомі значення потужності або локальні значення різних параметрів активної зони можуть перевищувати встановлені експлуатаційні межі або межі безпечної експлуатації. Адекватна оцінка безпеки РУ в таких режимах може бути отримана тільки за умови використання тривимірних кінетичних кодів. Неможливість виконання подібних досліджень з використанням тривимірних моделей реактора або нехтування такими дослідженнями можуть стати чинниками, що перешкоджають з'ясуванню прихованих дефектів конструкції реактора і його систем безпеки, які в певних ситуаціях можуть призводити до порушення нормальних умов експлуатації РУ, виникнення проектних аварій і навіть катастроф. Прикладом цього стала Чорнобильська аварія, що продемонструвала наскільки важливими є розробка сучасних тривимірних програм і методик

аналізу безпеки поведінки РУ в різних режимах експлуатації, включаючи і аварійні, а також створення спеціальних розрахункових і експериментальних бенчмарків, що дозволяють виконати верифікацію та валідацію як самих програмних засобів, так і бібліотек нейтронно-фізичних констант, використовуваних в них.

Із сказаного вище слідує, що виконання перерахованих вище досліджень з безпеки РУ можливе лише за умови наявності відповідних спеціалістів, що мають знання з розробки спеціальних розрахункових кодів та методик, використаних в них. Саме підготовку таких спеціалістів передбачає робоча програма даної навчальної дисципліни.

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей (компетентностей), які студент набуде після вивчення дисципліни:

Здатність розробляти, досліджувати та застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі, розрахункові методи та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання наукових задач атомної енергетики. ФК 01

Здатність застосовувати отримані знання та навички з детерміністичного та імовірнісного аналізу для підвищення надійності та безпеки АЕС із врахуванням вимог чинного законодавства, національних норм, правил і стандартів з ядерної енергетики. ФК 12

Здатність застосовувати науковий підхід для вдосконалення методів аналізу та управління проектних та запроектованих аварій на АЕС. ФК 14

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

Використовувати сучасні технології, обладнання, засоби управління інформацією для вирішення складних інженерних завдань і проблем атомної енергетики. ПРН 5

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна базується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін: Вища математика, Атомна та квантова фізика, Математична фізика, Теорія ядерних реакторів, Нестационарні процеси та керування ядерними паровидобувними установками (ЯПВУ).

Дисципліни, які базуються на результатах навчання з даної дисципліни: науково-практична робота за темою магістерської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Стаціонарні режими експлуатації ядерних реакторів.

Загальні принципи і поняття

Тема 1.1. Квазістаціонарні рівняння дифузії нейтронів для розрахунку стаціонарних станів неоднорідних завантажень РУ.

Тема 1.2. Розробка коду просторового розрахунку поля нейтронів в об'ємі активної зони декартової геометрії.

Тема 1.3. Методологія моделювання повільних (ксенонових та самарієвих) перехідних процесів

РОЗДІЛ 2. Моделювання швидких перехідних процесів.

Тема 2.1. Вплив запізнілих нейтронів на кінетику активної зони.

Тема 2.2. Двогрупова дифузійна модель для моделювання швидких перехідних процесів.

Тема 2.3. Алгоритм розрахунку.

Тема 2.4. Методологія консервативного аналізу моделювання швидких перехідних процесів в умовах використання тривимірних розрахункових кодів.

Тема 2.5. Сучасні нодальні методи розрахунку активних зон ВВЕР

РОЗДІЛ 3. Аварійні режими

Тема 3.1. Результати аналізу реактивнісних проектних аварій на ВВЕР-1000 кодами тривимірної кінетики

Тема 3.2. Результати чисельного моделювання аварії на Чорнобильській АЕС. Область застосування тривимірної методології та моделі точкової кінетики.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Павлович В. М. Фізика ядерних реакторів: навчальний посібник / В. М. Павлович ; НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. - Чорнобиль (Київ. обл.) : Ін-т проблем безпеки АЕС, 2009. - 224 с. (<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/41/124/41124863.pdf>)
2. Weston M. Stacey. Nuclear Reactor Physics. Wiley-VCH; 2nd edition, 2007, p. 735. (<http://www.gammaexplorer.com/wp-content/uploads/2014/03/Nuclear-Reactor-Physics-1.pdf>)

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

3. Hetrick, David L. Dynamics of Nuclear Reactors. Amer Nuclear Society, 1993, p.542.
4. Wagner, M.R.: "Tree-Dimensional Nodal Diffusion and Transport Methods for Hexagonal Geometry", Nucl. Sci. Eng. 103, 1989
5. Загальні положення безпеки атомних станцій, затверджено наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 19.11.2007 № 162, зареєстровано у Міністерстві юстиції України 25.01.2008 за № 56/14747.
6. U. Grundmann, U. Rohde "DYN3D/M2 –a Three-Dimensional Dynamic Code for Cores with Hexagonal Geometry". Paper presented at the IAEA TC/Workshop on Computer-Aided Safety Analysis, Berlin, 17-21 April, 1989 U.
7. DOORS 3.2: One-, Two- and Three-Dimensional Discrete Ordinates Neutron/Photon Transport Code System. RSIC Code package CCC-650.
8. Regulatory guide 1.190 "Calculation and dosimetry methods for determining pressure vessel neutron fluence", US nuclear regulatory commission, 2001.
9. Unified procedure for lifetime assessment of components and piping in WWER NPPs "VERLIFE", M. Brumovskiy, European Comission, 2002.
10. Studsvik® Scandpower, HELIOS methods, Version 1.8, November 2003.
11. Rhodes, J., Edenius, M. CASMO-4, A Fuel Assembly Burnup Program, User's Manual, SSP-01/400 Rev.3.
12. Grundmann, U.,Rohde, U., Mittag, S., Kliem, S. DYN3D Version3.2. Code for Calculation of Transients in Light Water Reactors (LWR) with Hexagonal or Quadratic Fuel Elements. Description of Models and Methods, FZR 434, August, 2005.
13. TaKeda T.,Komano Y. Extension of Askew's Coarse Mesk Method to Few Group Problems for Calculating Two-Dimensional Power Distribution in Fast Breeder Reactors.- J. of Nucl.Sci. and Techn., 1978, 15[7], pp.523-532.
14. А.В. Кучин, Ю.М. Овдієнко, В.А. Халимончук Консервативний аналіз реактивнісних аварій (RIA) з використанням моделі просторової кінетики // Ядерна та радіаційна безпека. — 2009. — № 4. — С. 10-22
15. Звіт про науково-дослідну роботу за контрактом No. 60040 (Task 3.2) «Розвиток ліцензійних та інспекційних можливостей. Модернізація пакету програм DOORS та розрахункових можливостей ДНТЦ ЯРБ для розрахунків флюенса нейтронів на корпуси реакторів ВВЕР АЕС України» — К.: ДНТЦ ЯРБ, 2003.

3) Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Тиждень	Зміст навчальної роботи	СРС (96 годин за навчальним планом)
РОЗДІЛ 1 Стаціонарні режими експлуатації ядерних реакторів		
1 (01.09-03.09) – I тиждень	Тема 1.1. Квазістаціонарні рівняння дифузії нейтронів для розрахунку стаціонарних станів неоднорідних завантажень РУ.	
	Лекція 1. Завдання і структура курсу. Значення та роль безпеки у ядерній енергетиці. Роль математичного моделювання стаціонарних та перехідних процесів експлуатації реакторних установок в оцінці їх безпеки. Місце тривимірного моделювання в оцінці безпеки ВВЕР. Швидкі та повільні перехідні процеси Одно- та двогрупово математичні моделі. Граничні умови. Підготовка нейтронно-фізичних констант однорідних гомогенних зон (нод).	Методи рішення рівняння переносу нейтронів в спектральних кодах (1,5 години) .

	Практичне заняття 1. Модель ТВЗ для розрахунку малогрупових нейтронно-фізичних констант	Розробка моделі для розрахунку НФК ТВЗ для програми WIMS (1,5 години) .
2 (06.09-10.09) – II тиждень	Лекція 2. Кінцево-різницеві рівняння для чисельного розрахунку стаціонарних станів в однокруповому та двокруповому дифузійному наближеннях. Організація внутрішніх та зовнішніх ітерацій з визначення просторового розподілу поля нейтронів та коефіцієнту розмноження нейтронів. Методологія відновлення поля енерговиділення з урахуванням показів датчиків системи внутрішньо-реакторного контролю.	Дифузійне наближеннях рішення рівняння переносу нейтронів (1,5 години) .
3 (13.09-17.09) – I тиждень	Лекція 3. Розрахунок абсолютних значень щільностей потоків нейтронів та енерговиділення. Врахування нерівномірного розподілу в активній зоні теплогідрравлічних параметрів теплоносія та концентрації ядер ізотопів-отруювачів.	СРС: Розподіл енерговиділення та теплогідрравлічних параметрів в активній зоні реактора (1,5 години) .
	Практичне заняття 2. Підготовка бібліотеки НФК для набору ТВЗ	Розрахунки малогрупових нейтронно-фізичних констант програмою WIMS (1,5 години) .
4 (20.09-24.09) – II тиждень	Тема 1.2. Розробка коду просторового розрахунку поля нейтронів в об'ємі активної зони декартової геометрії.	
	Лекція 4. Блок-сема розрахунку стаціонарного стану реактора в однокруповому та двокруповому дифузійному наближеннях. Нейтронно-фізичні константи для різних нейтронно-фізичних нод. Розгляд структури та функціонування програми стаціонарного розрахунку реактора в трьохвимірній геометрії та двокруповому дифузійному наближенні	СРС: Кінцево-різницева та нодальна схеми реалізації рішення дифузійного рівняння (1,5 години) .
5 (27.09-01.10) – II тиждень	Тема 1.3. Методологія моделювання повільних (ксенонових та самарієвих) перехідних процесів	
	Лекція 5. Рішення диференційних рівнянь для визначення просторово-часового розподілу концентрацій ксенону-135 та самарію-149. Визначення параметрів кінетики накопичення концентрації ядер-отруювачів з урахуванням в паливі декількох подільних ізотопів.	Вплив температура на переріз поглинання нейтронів ядрами ксенону-135 та самарію-149 (1,5 години) .
	Практичне заняття 3. Розробка моделі для нейтронно-фізичного розрахунку активної зони реактору	Розробка моделі для нейтронно-фізичного розрахунку активної зони реактора (1,5 години) .
6 (04.10-08.10) – II тиждень	Лекція 6. Початкова умова в моделюванні повільних перехідних процесів. Методологія врахування просторово-часового розподілу концентрації ядер отруювачів. Просторова кінетика концентрації ядер ксенону в реакторі з ядерним паливом, що рухається.	Динаміка зміни концентрації ядер отруювачів (1,5 години) .
7 (11.10-15.10) – I тиждень	Лекція 7. Ксенонові коливання потужності, стійкість активної зони ВВЕР до аксіальних ксенонових коливань потужності. Аксіальні коливання офсету в ксенонових перехідних процесах при маневруванні потужністю в ВВЕР-1000.	Алгоритм управління висотним полем енерговиділення реактора (1,5 години) .
	Практичне заняття 4. Граничні умови для	Розрахунковий аналіз впливу

	нейтронно-фізичного розрахунку активної зони реактора.	граничних умов на нейтронно-фізичній характеристики активної зони (1,5 години) .
РОЗДІЛ 2 Моделювання швидких перехідних процесів.		
Тема 2.1. Вплив запізнілих нейтронів на кінетику активної зони		
8 (18.10-22.10) – II тиждень	Лекція 8. Нестационарний режим роботи реактора без врахування запізнілих нейтронів. Характеристики запізнілих нейтронів та їх ефективність. Доля запізнілих нейтронів в паливі, що рухається, та паливі з декількома подільними ізотопами.	Ефективна частка нейтронів, що запізнюються. (1,5 години) .
9 (25.10-29.10) – I тиждень	Лекція 9. Рівняння для розрахунку концентрації попередників запізнілих нейтронів в одноруповому та двогруповому дифузійному наближеннях. Двогрупова та однорупова дифузійні моделі для моделювання швидких перехідних процесів з урахуванням запізнілих нейтронів. Технологія підготовки нейтронно-фізичних констант однорупової моделі з НФК двогрупової дифузійної моделі.	Характеристики ядер-попередників нейтронів, що запізнюються (1,5 години) .
	Практичне заняття 5. Ефекти та коефіцієнти реактивності.	Розрахунковий аналіз ефектів та коефіцієнтів реактивності (1,5 години) .
10 (01.11-05.11) – II тиждень	Лекція 10. Спектри запізнілих нейтронів та спосіб врахування в малогрупових моделях підвищеної ефективності запізнілих нейтронів. Необхідність нормування джерела миттєвих швидких нейтронів в нестационарному рівнянні дифузії на ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів в стаціонарному вихідному стані. Підготовка середньозважених параметрів кінетики запізнілих нейтронів для двогрупової дифузійної моделі транспорту нейтронів з декількома подільними ізотопами.	
Тема 2.2 Двогрупова дифузійна модель для моделювання швидких перехідних процесів		
11 (08.11-12.11) – I тиждень	Лекція 11. Диференціальні рівняння математичної моделі. Кінцево-різницевий підхід до чисельного розв'язку рівнянь математичної моделі. Початкові та граничні умови. Кінцево-різницеві рівняння та ітераційний метод їх розрахунку. Спряжені рівняння для стаціонарного стану реактора, розрахунок істинної реактивності в ході перехідного процесу з використанням рішення спряжених рівнянь.	Розрахунок реактивності методом збурень. (1,5 години) .
	Практичне заняття 6. Ефективність органів СУЗ	Розрахунковий аналіз диференційної та інтегральної ефективності органів СУЗ (1,5 години) .
12 (15.11-19.11) – II тиждень	Лекція 12. Рівняння точкової кінетики. Розрахунок реактивності за методом ОРПК. Рішення рівняння точкової кінетики для випадку введення реактивності скачком та по лінійному закону в залежності від часу Просторові ефекти в визначенні реактивності. Обґрунтування можливості спаду нейтронної потужності реактора при різкому зменшенні додатної	Обернене рішення рівняння кінетики (1,5 години) .

	реактивності.	
	Тема 2.3 Алгоритм розрахунку	
13 (22.11-26.11) – I тиждень	Лекція 13. Врахування зворотніх зв'язків за температурою теплоносія та палива, густиною теплоносія та нестационарними концентраціями ксенону і самарію. Розрахунок коефіцієнтів реактивності в ході перехідного процесу на основі теорії малих збурень.	Застосування теорії малих збурень в мат.фізиці (1,5 години) .
	Практичне заняття 7. Просторовий розподіл ядер-отруювачів.	Аналіз впливу просторового розподілу ядер-отруювачів на розподіл поля нейтронів (1,5 години) .
14 (29.11-03.12) – II тиждень	Лекція 14. Поняття локальної реактивності та локальних коефіцієнтів реактивності. Моделювання швидких перехідних процесів з урахуванням роботи системи управління та захисту.	Регулювання, розвантаження та обмеження потужності реактора (1,5 години) .
	Тема 2.4 Методологія консервативного аналізу моделювання швидких перехідних процесів в умовах використання тривимірних розрахункових кодів.	
15 (06.12-10.12) – I тиждень	Лекція 15. Методологія визначення консервативних значень параметрів активної зони в початковому стані. Методологія гарячого каналу. Додаткові консервативні умови протікання перехідного процесу та функціонування системи управління та захисту.	Консервативний аналіз реактивнісних аварій (1,5 години) .
	Практичне заняття 8. Умови реалізації стаціонарного стану активної зони.	Розрахунковий аналіз концентрації борної кислоти для забезпечення стаціонарного стану активної зони (1,5 години) .
16 (13.12-17.12) – II тиждень	Лекція 16. Огляд нодальних методів, їх переваги у порівнянні зі звичайними кінцево-різницевиими методами. Метод міжвузлової нодалізації. Нодальний метод на основі апроксимації просторового розподілу щільностей потоків нейтронів двогрупової дифузійної моделі поліномами Чебишева.	
РОЗДІЛ 3 Аварійні режими.		
	Тема 3.1. Результати аналізу реактивнісних проектних аварій на ВВЕР-1000 кодами тривимірної кінетики	
17 (20.12-24.12) – I тиждень	Лекція 17. Приклади виконаних аналізів з використанням тривимірних нейтронно-фізичних кодів: Викид кластеру СУЗ з активної зони, підключення раніше непрацюючої петлі циркуляції теплоносія, самохід ОР СУЗ з урахуванням роботи реактора в автоматичному регулюванні потужності.	Аналіз порушень нормальних умов експлуатації та проектних аварій, пов'язаних зі зміною реактивності та перерозподілом енерговиділення в активній зоні (1,5 години) .
	Модульна контрольна робота	
	Тема 3.2. Результати чисельного моделювання аварії на Чорнобильській АЕС. Область застосування тривимірної методології та моделі точкової кінетики	
18 (27.12-31.12) – II тиждень	Лекція 18. Розрахунковий аналіз встановлення причин Чорнобильської аварії: загальний опис хронології аварії, розрахункове моделювання ксенонового перехідного процесу, що передував аварії, моделювання кінцевого ефекту стрижнів СУЗ, моделювання першої фази аварії – натискання кнопки спрацювання аварійного	Висновки по курсу. Обговорення рейтингових балів

6. Самостійна робота студента

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання певних теоретичних завдань СРС (видається після лекцій) та у якості індивідуального завдання передбачається виконання розрахункової роботи по матеріалам практичних занять. Крім того, відводиться час на підготовку до модульної контрольної роботи і до екзамену. Час на їх підготовку подано нижче.

Тема розрахункової роботи

Розрахунковий аналіз просторового розподілу поля нейтронів в об'ємі активної зони реактору

Завдання для виконання розрахункової роботи (номенклатура/конфігурація активної зони) видається викладачем на початку семестру.

№ з/п	Назва	Кількість годин СРС
1.	Лекція 1. Завдання і структура курсу. Значення та роль безпеки у ядерній енергетиці.	0,5
2.	СРС: Методи рішення рівняння переносу нейтронів в спектральних кодах.	1,5
3.	Практичне заняття 1. Модель ТВЗ для розрахунку малогрупових нейтронно-фізичних констант	0,5
4.	СРС: Розробка моделі для розрахунку НФК ТВЗ для програми WIMS.	1,5
5.	Лекція 2. Кінцево-різницеві рівняння для чисельного розрахунку стаціонарних станів в одноступовому та двогруповому дифузійному наближеннях.	0,5
6.	СРС. Дифузійне наближення рішення рівняння переносу нейтронів.	1,5
7.	Лекція 3. Розрахунок абсолютних значень щільностей потоків нейтронів та енерговиділення.	0,5
8.	СРС: Розподіл енерговиділення та теплогідравлічних параметрів в активній зоні реактора.	1,5
9.	Практичне заняття 2. Підготовка бібліотеки НФК для набору ТВЗ	0,5
10.	СРС: Розрахунки малогрупових нейтронно-фізичних констант програмою WIMS.	1,5
11.	Лекція 4. Блок-сема розрахунку стаціонарного стану реактора в одноступовому та двогруповому дифузійному наближеннях.	0,5
12.	СРС: Кінцево-різницева та нодальна схеми реалізації рішення дифузійного рівняння.	1,5
13.	Лекція 5. Рішення диференціальних рівнянь для визначення просторово-часового розподілу концентрацій ксенону-135 та самарію-149.	0,5
14.	СРС: Вплив температура на переріз поглинання нейтронів ядрами ксенону-135 та самарію-149.	1,5
15.	Практичне заняття 3. Розробка моделі для нейтронно-фізичного розрахунку активної зони реактору	0,5
16.	СРС: Розробка моделі для нейтронно-фізичного розрахунку активної зони реактора.	1,5
17.	Лекція 6. Початкова умова в моделюванні повільних перехідних процесів.	0,5
18.	СРС: Динаміка зміни концентрації ядер отруювачів.	1,5
19.	Лекція 7. Ксенонові коливання потужності, стійкість активної зони ВВЕР до аксіальних ксенонових коливань потужності. Аксіальні коливання офсету в ксенонових перехідних процесах при маневруванні потужністю в ВВЕР-1000.	0,5
20.	СРС: Алгоритм управління висотним полем енерговиділення реактора.	1,5
21.	Практичне заняття 4. Граничні умови для нейтронно-фізичного розрахунку активної зони реактора.	0,5
22.	СРС: Розрахунковий аналіз впливу граничних умов на нейтронно-фізичні характеристики активної зони.	1,5
23.	Лекція 8. Нестационарний режим роботи реактора без врахування запізнених нейтронів. Характеристики запізнених нейтронів та їх ефективність.	0,5
24.	СРС: Ефективна частка нейтронів, що запізняються.	1,5
25.	Лекція 9. Рівняння для розрахунку концентрації попередників запізнених нейтронів в одноступовому та двогруповому дифузійному наближеннях.	0,5

№ з/п	Назва	Кількість годин СРС
26.	СРС: Характеристики ядер-попередників нейтронів, що запізнюються.	1,5
27.	Практичне заняття 5. Ефекти та коефіцієнти реактивності.	0,5
28.	СРС: Розрахунковий аналіз ефектів та коефіцієнтів реактивності.	1,5
29.	Лекція 10. Спектри запізнілих нейтронів та спосіб врахування в малогрупових моделях підвищеної ефективності запізнілих нейтронів.	0,5
30.	Лекція 11. Диференціальні рівняння математичної моделі. Кінцево-різницевий підхід до чисельного розв'язку рівнянь математичної моделі.	0,5
31.	СРС: Розрахунок реактивності методом збурень.	1,5
32.	Практичне заняття 6. Ефективність органів СУЗ	0,5
33.	СРС: Розрахунковий аналіз диференційної та інтегральної ефективності органів СУЗ	1,5
34.	Лекція 12. Рівняння точкової кінетики. Розрахунок реактивності за методом ОРПК.	0,5
35.	СРС: Обернене рішення рівняння кінетики.	1,5
36.	Лекція 13. Врахування зворотніх зв'язків за температурою теплоносія та палива, густиною теплоносія та нестационарними концентраціями ксенону і самарію.	0,5
37.	СРС: Застосування теорії малих збурень в мат. фізиці.	1,5
38.	Практичне заняття 7. Просторовий розподіл ядер-отруювачів.	0,5
39.	СРС: Аналіз впливу просторового розподілу ядер-отруювачів на розподіл поля нейтронів.	1,5
40.	Лекція 14. Поняття локальної реактивності та локальних коефіцієнтів реактивності.	0,5
41.	СРС: Регулювання, розвантаження та обмеження потужності реактора.	1,5
42.	Лекція 15. Методологія визначення консервативних значень параметрів активної зони в початковому стані.	0,5
43.	СРС: Консервативний аналіз реактивнісних аварій.	1,5
44.	Практичне заняття 8. Умови реалізації стаціонарного стану активної зони.	0,5
45.	СРС: Розрахунковий аналіз концентрації борної кислоти для забезпечення стаціонарного стану активної зони.	1,5
46.	Лекція 16. Огляд нодальних методів, їх переваги у порівнянні зі звичайними кінцево-різницеvими методами.	0,5
47.	Модульна контрольна робота.	4
48.	Лекція 17. Приклади виконаних аналізів з використанням тривимірних нейтронно-фізичних кодів: Викид кластеру СУЗ з активної зони, підключення раніше непрацюючої петлі циркуляції теплоносія, самохід ОР СУЗ з урахуванням роботи реактора в автоматичному регулюванні потужності.	0,5
49.	СРС: Аналіз порушень нормальних умов експлуатації та проектних аварій, пов'язаних зі зміною реактивності та перерозподілом енерговиділення в активній зоні.	1,5
50.	Лекція 18. Розрахунковий аналіз встановлення причин Чорнобильської аварії: загальний опис хронології аварії.	0,5
51.	Розрахункова робота	14,5
52.	Екзамен	30
ВСЬОГО		96,0

4) Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог до студентів:

- **правила відвідування занять** – відвідувати навчальні заняття та контрольні заходи передбачені графіком освітнього процесу (п. 9.4 <https://kpi.ua/admin-rule>), як при навчанні в аудиторіях, так і при використанні дистанційного режиму навчання. В останньому випадку заняття проводяться в режимі онлайн-конференцій і студенти їх «відвідують» під'єднуючись за наданими викладачем посиланням;

- **правила поведінки на заняттях** – не заважати зайвою діяльністю, розмовами (в тому числі телефоном) іншим студентам слухати лекцію чи працювати під час виконання практичних занять. В аудиторіях/лабораторіях та при дистанційному навчанні вдома дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- **правила захисту звіту з комп'ютерних практикумів** – викладач особисто спілкується зі студентом та задає теоретичні питання за тематикою роботи та отриманими результатами;
- **правила призначення заохочувальних та штрафних балів** – заохочувальні бали передбачені за академічну активність на лекційних заняттях, штрафні бали нараховуються при виявленні фактів порушення правил доброчесності при складанні контрольних та лабораторних робіт і можуть накладатися у розмірі оцінки передбаченої за конкретну роботу;
- **політика дедлайнів та перескладань:**
 - 1) перескладання екзамену здійснюються за графіком, встановленим на рівні університету;
 - 2) переписування модульних контрольних робіт не передбачено;
- **політика щодо академічної доброчесності** – студенти зобов'язані дотримуватись положень Кодексу честі та вимог академічної доброчесності під час освітнього процесу.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Види контролю знань студента з дисципліни:

- *відповіді на експрес-опитування, що проводяться на лекційних заняттях;*
- *робота на практичних заняттях;*
- *виконання та захист розрахункової роботи;*
- *виконання МКР;*
- *відповідь на екзамені.*

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 5) *чотири відповіді в середньому кожного студента на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 студенти);*
- 6) *робота на практичних заняттях;*
- 7) *виконання і захист розрахункової роботи;*
- 8) *виконання МКР;*
- 9) *відповідь на екзамені.*

Умовою першої атестації є отримання не менше ніж 16 балів. Умовою другої атестації є отримання не менше ніж 45 балів та зарахування РР.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на заняттях;

Експрес-опитування на лекції

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів студента за чотири опитування становить $r_{1л} = 4$ бали.

Критерії оцінювання:

1 бал — в повному об'ємі надана відповідь; **0 балів** — не надана відповідь.

Практичні заняття

Ваговий бал — 2. Максимальна кількість балів студента за вісім занять: $r_{2пр} = 2$ балів $\times 8 = 16$ балів. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань обов'язкове.

Критерії оцінювання:

2 бали — в повному об'ємі, вчасно і вірно виконане завдання; **1 бал** — в повному об'ємі, вчасно але з суттєвими недоліками виконане завдання; **0 балів** — не вчасно, або не вірно виконане завдання.

Штрафні бали:

— несвоєчасне представлення виконаного завдання без поважної причини (хвороба) — **1 бал**.

Максимальна кількість балів $r_1 = r_{1л} + r_{1пр} = 20$ балів.

3. Виконання і захист розрахункової роботи

Максимальна кількість балів за виконання розрахункової роботи 15 балів і за захист 5 балів, тобто сумарна кількість балів дорівнює $r_{рр} = 20$. Завдання для виконання розрахункової роботи видається студенту на початку семестру, строк захисту – останнє практичне заняття. Оформлення звіту з виконання розрахункової роботи згідно вимогам ДСТУ 8302:2015. Захист розрахункової роботи на останньому практичному занятті. Виконання завдань і захист розрахункової роботи обов'язкове.

Критерії оцінювання (виконання розрахункової роботи):

15 балів — повне виконання завдання, відповідність вимогам щодо оформлення; **12...14 балів** — повне виконання завдання, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **9...11 балів** — виконання завдання з деякими незначними неточностями, відповідність вимогам щодо оформлення; **4...8 балів** — виконання завдання з деякими неточностями, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **0...4 бали** — виконання завдання з грубими помилками, невідповідність вимогам щодо оформлення – робота не зарахована, потребує доопрацювання.

Критерії оцінювання (захист розрахункової роботи):

5 балів — повна вірна відповідь на поставлені запитання за темою розрахункової роботи; **4 бали** — відповідь має несуттєві похибки; **3 бал** — неповна відповідь; **2 бали** — наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, **0...1 бали** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, захист не зараховано

Штрафні бали:

– несвоєчасне представлення та/або захист розрахункової роботи без поважної причини (хвороба) — **1 бал**.

Заохочувальні бали

– участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозіумах — **5 балів** (при умові виконання завдань розрахункової роботи). Однак сумарний рейтинг студента не може перевищувати 100.

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Максимальна кількість балів за МКР становить $r_{МКР} = 10$ балів.

Критерії оцінювання:

10 балів — повна вірна відповідь на завдання; **7..8 балів** — відповідь має несуттєві помилки; **5..6 балів** — неповна відповідь; **3..4 бали** — неповна відповідь з несуттєвими недоліками; **0...2 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

5. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово–усній формі. Екзаменаційна робота складається з двох теоретичних питань (по 25 балів). Тобто, максимальна кількість балів за виконану екзаменаційну роботу: $25+25 = 50$ балів.

Критерії оцінювання:

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

– правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — **19...25 балів**;

– достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) **14...18 балів**;

– неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) — **11...13 балів**;

– незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) — менше **10 балів**.

Штрафні бали:

– додаткове питання з тем лекційного курсу та практичних занять отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на **3 бали**.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_D):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_C = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

де r_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_C = 20+20+10 = 50$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з МКР, захист розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 25 балів.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів або не виконали умов допуску на екзамен, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Рейтинг з дисципліни розраховується за формулою рейтингова оцінка (R_D) з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу (r_c) та балів отриманих на екзамені (r_1):

$$R_D = r_c + r_1.$$

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = r_c + r_1 = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: https://osvita.kpi.ua/2020_7-170, https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf).

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний КАМПУС». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

2. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:

– передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;

– кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);

– у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

3. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
- сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;
- публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

Список теоретичних питань до модульної контрольної роботи

МКР складається з двох теоретичних питань.

Теоретичні питання.

1. Кінцево-різницеві рівняння в одногруповому дифузійному наближенні
2. Кінцево-різницеві рівняння в двогруповому дифузійному наближенні
3. Відновлення поля енерговиділення з урахуванням показів датчиків системи внутрішньо-реакторного контролю
4. Розрахунок абсолютних значень щільностей потоків нейтронів та енерговиділення
5. Нерівномірність розподілу в активній зоні теплогідравлічних параметрів теплоносія та концентрації ядер ізотопів-отруювачів
6. Нейтронно-фізичні константи для різних нейтронно-фізичних нод для дифузійного наближення
7. Рішення диференціальних рівнянь для визначення просторово-часового розподілу концентрацій ксенону 135 та самарію-149
8. Початкові умови в моделюванні повільних перехідних процесів
9. Ксенонові коливання потужності
10. Характеристики запізнілих нейтронів та їх ефективність
11. Спектри запізнілих нейтронів та спосіб врахування в малогрупових моделях підвищеної ефективності запізнілих нейтронів
12. Рівняння для розрахунку концентрації попередників запізнілих нейтронів в одногруповому та двогруповому дифузійному наближеннях
13. Одногрупова дифузійна модель з урахуванням запізнілих нейтронів
14. Двогрупова дифузійна модель з урахуванням запізнілих нейтронів
15. Середньозважені параметри кінетики запізнілих нейтронів для двогрупової дифузійної моделі транспорту нейтронів з декількома подільними ізотопами
16. Розрахунок реактивності за методом ОРПК.

Список теоретичних питань до екзамену

1. Одно- та двогрупова математичні моделі рівняння дифузії нейтронів
2. Нейтронно-фізичні константи однорідних гомогенних зон
3. Кінцево-різницеві рівняння в одnogруповому дифузійному наближенні
4. Кінцево-різницеві рівняння в двогруповому дифузійному наближенні
5. Внутрішні та зовнішні ітерації з визначення просторового розподілу поля нейтронів та коефіцієнту розмноження нейтронів
6. Відновлення поля енерговиділення з урахуванням показів датчиків системи внутрішньо-реакторного контролю
7. Розрахунок абсолютних значень щільностей потоків нейтронів та енерговиділення
8. Нерівномірність розподілу в активній зоні теплогідравлічних параметрів теплоносія та концентрації ядер ізотопів-отруювачів
9. Загальний алгоритм розрахунку стаціонарного стану реактора в одnogруповому та двогруповому дифузійному наближеннях
10. Нейтронно-фізичні константи для різних нейтронно-фізичних нод для дифузійного наближення
11. Вплив просторового розподілу ядер-отруювачів на розподіл поля нейтронів
12. Оцінка концентрації борної кислоти для забезпечення стаціонарного стану активної зони
13. Рішення диференціальних рівнянь для визначення просторово-часового розподілу концентрацій ксенону 135 та самарію-149
14. Початкові умови в моделюванні повільних перехідних процесів
15. Ксенонові коливання потужності
16. Стійкість активної зони ВВЕР до аксіальних ксенонових коливань потужності
17. Аксіальні коливання офсету в ксенонових перехідних процесах при маневруванні потужністю
18. Характеристики запізнілих нейтронів та їх ефективність
19. Спектри запізнілих нейтронів та спосіб врахування в малогрупових моделях підвищеної ефективності запізнілих нейтронів
20. Рівняння для розрахунку концентрації попередників запізнілих нейтронів в одnogруповому та двогруповому дифузійному наближеннях
21. Одnogрупова дифузійна модель з урахуванням запізнілих нейтронів
22. Двогрупова дифузійна модель з урахуванням запізнілих нейтронів
23. Технологія підготовки нейтронно-фізичних констант одnogрупової дифузійної моделі з двогрупової
24. Середньозважені параметри кінетики запізнілих нейтронів для двогрупової дифузійної моделі транспорту нейтронів з декількома подільними ізотопами
25. Рівняння точкової кінетики.
26. Розрахунок реактивності за методом ОРПК.
27. Можливість спаду нейтронної потужності реактора при різкому зменшенні додатної реактивності
28. Локальна реактивність та локальні коефіцієнти реактивності
29. Консервативні значення параметрів активної зони в початковому стані в аварійних режимах
30. Нодальний метод, перевага нодального методу у порівнянні зі звичайними кінцево-різницеvими методами.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., ст. викладачем, Овдієнко Юрієм Миколайовичем

Ухвалено кафедрою АЕ (протокол № 19 від 17.05.2023р.)

Погоджено методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 23.06.2023р.)