Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

# ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В РЕАКТОРАХ ВВЕР-1000

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

| | |
|---|---|
| **Рівень вищої освіти** | ***Третій (освітньо-науковий)*** |
| **Галузь знань** | *14 Електрична інженерія* |
| **Спеціальність** | *143 Атомна енергетика* |
| **Освітня програма** | *Атомна енергетика* |
| **Статус дисципліни** | *Нормативна, навчальні дисципліни для здобуття глибинних знань зі спеціальності* |
| **Форма навчання** | *очна(денна)* |
| **Рік підготовки, семестр** | *2 курс, осінній* |
| **Об'єм дисципліни** | *4 кредити (120 годин); 12 годин лекцій; 6 годин практичних занять; 21 година індивідуальні заняття; 81 година СРС* |
| **Семестровий контроль/ контрольні заходи** | *екзамен, модульна контрольна робота, реферат* |
| **Розклад занять** | *http://rozklad.kpi.ua/* |
| **Мова викладання** | *українська* |
| **Інформація про керівника курсу / викладачів** | Лектор: *д.т.н., доцент, Халімончук Володимир Адамович,* ДНТЦ ЯРБ, тел. 0976382320, vladkhalim@gmail.com<br>Практичні: *д.т.н., доцент, Халімончук Володимир Адамович,* ДНТЦ ЯРБ, тел. 0976382320, vladkhalim@gmail.com<br>Лабораторні: не передбачено |
| **Розміщення курсу** | *https://campus.kpi.ua*, *https://drive.google.com/drive/u/1/my-drive* |

### Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни *нейтронно-фізичні процеси в перехідних та аварійних режимах ядерних реакторів*

Основною задачею в атомній енергетиці є обґрунтування безпеки АЕС та її основного елементу - реакторної установки. Зважаючи на неоднорідність активної зони та її суттєву гетерогенність, такі дослідження безпеки виконуються шляхом моделювання режимів експлуатації РУ чисельним способом з використанням просторових моделей активної зони. Особливо важливим є використання такої методології в дослідженнях безпеки активної зони енергетичного реактора в перехідних режимах експлуатації.

Дослідження перехідних і аварійних режимів експлуатації енергетичних реакторів є однією з найскладніших та найважливіших задач в аналізі безпеки АЕС. Як правило, в цих режимах відбувається просторовий перерозподіл ряду нейтронно-фізичних та теплогідравлічних параметрів активної зони, що призводить до деформації поля енерговиділення та виникненню локальних зон з потужністю, що може перевершувати встановлені допустимі межі. З часом ці локальні ефекти суттєво змінюються, а в окремих випадках дія автоматичного регулятора реактора посилює локальну деформацію. Для запобігання пошкодженню активної зони та викиду радіоактивних елементів в оточуюче середовище необхідне вміння застосовувати методологію нейтронно-фізичного розра-

хунку реактора для якісного моделювання повільних і швидких перехідних режимів та власноруч розробляти для цього відповідні розрахункові коди.

Виконання зазначених вище досліджень з безпеки РУ можливе лише за умови наявності відповідних спеціалістів, що мають знання з розробки спеціальних розрахункових кодів на основі сучасних методик та алгоритмів. Саме підготовку таких спеціалістів передбачає робоча програма даної навчальної дисципліни.

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

1. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності (ФК3).
2. Здатність формулювати наукову проблему (задачу), що має теоретичне та практичне значення в галузі атомної енергетики, визначати шляхи її вирішення із залученням сучасних теоретичних та експериментальних методів та інформаційних технологій (ФК5).
3. Здатність розробляти, застосовувати та удосконалювати математичні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення складних завдань у технічних та природничих системах (ФК9).

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

1. Мати передові концептуальні та методологічні знання з атомної енергетики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень, отримання нових знань та/або здійснення інновацій (ПРН1).
2. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп’ютерного моделювання, наявні літературні дані (ПРН3).
3. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп’ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у галузі атомної енергетики та дотичних міждисциплінарних напрямах (ПРН4).
4. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи (ПРН6).

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

Для засвоєння матеріалу дисципліни необхідно мати знання перехідних процесів в реакторах. Постреквізити дисципліни: робота над докторською дисертацією.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

**РОЗДІЛ 1 Розрахунок реактора в стаціонарному стані**

Тема 1.1 Введення в дисципліну. Розрахунок реактора без врахування дії зворотних зв’язків за теплогідравлічними та нейтронно-фізичними параметрами

Тема 1.2 Розрахунок стаціонарного стану реактора з урахуванням дії зворотних зв’язків за теплогідравлічними та нейтронно-фізичними параметрами.

**РОЗДІЛ 2 Методологія моделювання повільних перехідних процесів**

Тема 2.1 Математична модель реактора для дослідження ксенонових перехідних процесів.

Тема 2.2 Методологія чисельного розрахунку повільного перехідного процесу.

**РОЗДІЛ 3 Методологія моделювання швидких перехідних процесів**

Тема 3.1 Моделі для дослідження динаміки реакторів з розподіленими параметрами на основі опису транспорту нейтронів в дифузійному наближенні.

Тема 3.2 Розрахунок швидких перехідних процесів з використанням методу кінцевих різниць в двогруповому дифузійному наближенні.

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

*Базова (підручники, навчальні посібники) література.*


1. Халімончук В.А. Тривимірне моделювання перехідних процесів в реакторах ВВЕР–1000 [Текст] : навч. посіб. для аспірантів спеціальності 143 Атомна енергетика (ОНП Атомна енергетика) /В.А. Халімончук; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 158 с.
2. 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.
3. В.А. Халимончук. “Динамика ядерного реактора с распределенными параметрами в исследованиях переходных и аварийных режимов эксплуатации ВВЭР и РБМК” Киев, 2008, издательство "Основа" (серия – Безопасность атомных станций), 226 стр.
4. А. Вейнберг, У.Вигнер Физическая теория ядерных реакторов. Издательство иностранной литературы, М. 1961


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


5. Дж.Кипин. Физические основы кинетики ядерных реакторов. Атомиздат, М. 1967
6. А.А.Саркисов, В.Н. Пучков. Судовые реакторы и парогенераторы, часть 1-Физика ядерных реакторов, М., Военное издательство, 1985
7. Д. Хетрик “Динамика ядерных реакторов”, М. Атомиздат, 1975, с.400
8. Д. Белл, С. Глесстон “Теория ядерных реакторов”. Москва, Атомиздат 1974
9. А.П.Рудик. Ксеноновые переходные процессы в ядерных реакторах. М.: Атомиздат, 1974
10. Зизин М.Н., Шишков Л.К., Ярославцева Л.Н. Тестовые нейтронно-физические расчеты ядерных реакторов.М.: Атомиздат, 1980
11. Мараказов А.А. Методика расчета кассет реактров ВВЭР в двухгрупповом диффузионном приближении., Препринт ИАЭ-2781, М.,1977
12. Основы теории и методы расчета ядерных реакторов. Учебное пособие для вузов. Под редакцией Г.А.Батя, М. Энергоиздат, 1982
13. Глесстон С, Эдлунд М. Основы теории ядерных реакторов. М.: Изд-во иностр. лит., 1954
14. О.Б. Самойлов, Г.Б. Усынин, А.М. Бахмллетьев. Безопасность ядерных энергетических установок, М:, Энергоатомиздат, 1989 г.
15. В.А. Вознесенский, В.В. Семёнов Эксплуатационные режимы ВВЭР-1000. Библиотека эксплуатационника. Выпуск 12. М:, Энергоатомиздат, 1992 г.
16. В.Ф. Украинцев «Учебное пособие - эффекты реактивности в энергетических реакторах». Обнинский институт атомной энергетики, Факультет повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов. Обнинск 2000.
17. В.И. Наумов, В.Е. Смирнов Моделирование нестационарных и аварийных процессов в ядерных энергетических установках, Лабораторный практикум, Московский инженерно-физический институт (государственный университет), рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, Москва 2007
18. В.А. Халимончук, А.В. Краюшкин. “ТРЕП - быстродействующая программа для исследования нестационарных режимов РБМК в трехмерной геометрии”, Препринт КИЯИ-90-18, Киев, 1990.
19. 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.

20. Wagner, M.R.: “Tree-Dimensional Nodal Diffusion and Transport Methods for Hexagonal Geometry”, Nucl. Sci. Eng. 103, 1989
21. Studsvik® Scandpower, HELIOS methods, Version 1.8, November 2003
22. 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.
23. Халимончук В.А., Кучин А.В. "Нейтронно-физические и теплофизические исследования аварии на 4-м энергоблоке ЧАЭС", Киев, Доклады Академии наук Украины, 1993, №1, с.140-147
24. Абагян А.А., Аршавский И.М., Дмитриев В.М., Крошилин А.Е., Краюшкин А.В., Халимончук В.А. “Расчетный анализ начальной стадии аварии на Чернобыльской АЭС”, М., Атомная энергия, том 71, выпуск 4, 1991, с.275- 287
25. А.В. Кучин, Ю.Н. Овдиенко, В.А. Халимончук “Консервативный анализ реактивностных аварий (RIA) с использованием модели пространственной кинетики”// Ядерная и радиационная безопасность. — 2009. — № 4. — С. 10—22

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

*Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні заняття*

**Лекційні заняття**

| № | Назва теми лекції та перелік основних питань |
|---|---|
| | **РОЗДІЛ 1 Розрахунок реактора в стаціонарному стані** |
| | **Тема 1.1** ***Введення в дисципліну. Розрахунок реактора без врахування дії зворотних зв’язків за теплогідравлічними та нейтронно-фізичними параметрами*** |
| 1 | Лекція 1. Предмет та задачі курсу. Місце стаціонарного розрахунку активної зони в дослідженні перехідних режимів експлуатації. Дифузійні моделі транспорту нейтронів. Квазістаціонарні рівняння та чисельний розрахунок реактора методом ітерацій. |
| | Індивідуальні заняття.<br>Розрахунок реактора без врахування дії зворотних зв’язків за теплогідравлічними параметрами. Організація внутрішніх та зовнішніх ітерацій. |
| | **Тема 1.2** ***Розрахунок стаціонарного стану реактора з урахуванням дії зворотних зв’язків за теплогідравлічними та нейтронно-фізичними параметрами*** |
| 2 | Лекція 2. Методологія підготовки бібліотек дво- та одно-групових нейтронно-фізичних констант для фізичного розрахунку реактора. Визначення абсолютних значень потужностей розрахункових нод для визначення концентрацій ядер ксенону та самарію. |
| | Індивідуальні заняття.<br>Урахування нерівномірного розподілу в активній зоні ядер $XE^{135}$ та теплогідравлічних параметрів. Блок-схема фізичного розрахунку реактора. |
| | **РОЗДІЛ 2 Методологія моделювання повільних перехідних процесів** |
| | **Тема 2.1** ***Математична модель реактора для дослідження ксенонових перехідних процесів.*** |
| 3 | Лекція 3. Математична модель реактора для дослідження ксенонових перехідних процесів. Початкова умова для розрахунку ксенонового перехідного процесу, відновлення поля енерговиділення в початковому стані. |
| | Індивідуальні заняття.<br>Аналітичний розрахунок часової зміни концентрації ядер ксенону та самарію в окремій розрахунковій ноди.<br>Врахування просторо-часової зміни концентрацій ядер ксенону та самарію. в повільних |

| | |
|---|---|
| | перехідних процесах. |
| | **Тема 2.2** ***Методологія чисельного розрахунку повільного перехідного процесу.*** |
| 4 | Лекція 4. Послідовність виконання розрахунку повільного перехідного процесу. |
| | Індивідуальні заняття.<br>Моделювання кампанії реактора, блок-схема розрахунку. |
| | **РОЗДІЛ 3 Методологія моделювання швидких перехідних процесів** |
| | **Тема 3.1** ***Моделі для дослідження динаміки реакторів з розподіленими параметрами на основі опису транспорту нейтронів в дифузійному наближенні.*** |
| 5 | Лекція 5. Врахування запізнілих нейтронів в активній зоні з одним та декількома подільними ізотопами. |
| | Індивідуальні заняття.<br>Середньо зважені параметри запізнілих нейтронів для моделі двогрупового дифузійного наближення.<br>Врахування ефективності запізнілих нейтронів.<br>Визначення реактивності в швидкому перехідному процесі (метод ОРУК та істинна реактивність) |
| | **Тема 3.2** ***Розрахунок швидких перехідних процесів з використанням методу кінцевих різниць в двогруповому дифузійному наближенні.*** |
| 6 | Лекція 6. Кінцево-різницеві рівняння, послідовність розрахунку та блок-схема розрахунку. |
| | Індивідуальні заняття.<br>Розрахунок в ході перехідного процесу істинної реактивності, локально розподіленої реактивності та локальних ефектів реактивності.<br>Блок-схема розрахунку швидкого перехідного процесу з урахуванням дії зворотних зв'язків за теплогідравлічними параметрами та запізнілими нейтронами. |

*Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено практичні заняття*

**Практичні заняття**

| № | Назва теми практичних занять |
|---|---|
| | **Розрахунок реактора в стаціонарному стані** |
| 1 | **Заняття 1. Структура програми стаціонарного розрахунку реактора в двогруповому дифузійному наближенні.**<br>На прикладі спеціально розробленої для реалізації наукового процесу програми на алгоритмічній мові ФОРТРАН (далі учбова програма) розглядається побудова ітераційного блоку та його взаємодія з підпрограмою нейтронно-фізичних констант, блоком розрахунку потужності розрахункових нод та визначення нерівномірного розподілу концентрації ядер $Xe^{135}$. Розглядається організація внутрішніх та зовнішніх ітерацій |
| | Індивідуальні заняття.<br>Побудова ітераційного блоку та визначення нерівномірного розподілу концентрації ядер $Xe^{135}$. Організація внутрішніх та зовнішніх ітерацій |
| 2 | **Заняття 2**. З використанням учбової програми виконання оцінки величини отруєння реактора в залежності від рівня потужності |
| | Індивідуальні заняття.<br>Оцінка величини отруєння реактора в залежності від рівня потужності |
| 3 | **Заняття 3** З використанням учбової програми виконуються розрахунки інтегральної та диференціальної ефективностей одного органу регулювання та захисту. |
| | Індивідуальні заняття.<br>Розрахунки інтегральної та диференціальної ефективностей одного органу регулювання та захисту. |

## 6. Самостійна робота аспіранта

*Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено у якості індивідуального завдання написання реферату. Тема реферату обирається аспірантом. Обсяг часу, який відводиться на виконання індивідуального завдання: 15 годин самостійної роботи.*

| № з/п | Тема реферату |
|---|---|
| 1. | Кінцево-різницеві рівняння одногрупової дифузійної моделі транспорту нейтронів для стаціонарного розрахунку реактора. Врахування в моделі впливу нерівномірного отруєння активної зони реактора ксеноном та самарієм. Блок-сема стаціонарного розрахунку |
| 2. | Кінцево-різницеві рівняння двогрупової дифузійної моделі транспорту нейтронів для стаціонарного розрахунку реактора. Врахування в моделі впливу нерівномірного отруєння активної зони реактора ксеноном та самарієм. Блок-сема стаціонарного розрахунку |
| 3. | Отруєння активної зони реактора з паливом, що рухається через активну зону. |
| 4. | Визначення реактивності за методом ОРУК. Просторові ефекти реактивності. |
| 5. | Ксенонові аксіальні коливання потужності в реакторах ВВЕР-10000. |
| 6. | Консервативний аналіз безпеки ВВЕР-1000 в швидких перехідних та аварійних процесах |
| 7. | Рівняння кінетики накопичення та зміни в часі концентрації ядер ксенону та самарію. Оцінка максимально можливої величини отруєння реактора ксеноном |
| 8. | Процедура відновлення поля енерговиділення в об’ємі активної зони та сфера її застосування |
| 9. | Реактивність, її визначення в стаціонарному стані, повільному та швидкому перехідному процесі |
| 10. | Запізнілі нейтрони та їх роль в управлінні реактора. Врахування запізнілих нейтронів в дифузійних моделях транспорту нейтронів в активних зонах з одним та декількома подільними ізотопами |
| 11. | Експлуатація реактора в маневровому режимі. Проблеми та їх вирішення. |
| 12. | Оптимізація ксенонових перехідних процесів |
| 13. | ідготовка бібліотеки нейтронно-фізичних констант для фізичного розрахунку реактора в таціонарному стані та перехідних процесах |
| 14 | Стійкість аксіальних ксенонових коливань потужності |

## Політика та контроль

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

*Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:*

- *обов’язкове відвідування лекцій, а також готовність відповідей при опитуванні;*
- *необхідне виконання таких вимог: активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення мобільних телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв’язку для пошуку інформації в Інтернеті;*
- *заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несвоєчасному виконанню завдань;*
- *політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточних модульних робіт і реферату до початку сесії;*
- *політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «КПІ ім. Сікорського» (детальніше*: https://kpi.ua/code*);*
- *політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних енерге-*

*тичних систем, унікального обладнання в енергетичній галузі, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду.*

– *за бажанням аспірантів, допускається вивчення матеріалу за допомогою онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.*

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

Види контролю знань аспірантів з дисципліни:

- *відповіді на лекційних заняттях;*
- *виконання та захист реферату;*
- *виконання МКР (дві частини);*
- *відповідь на екзамені.*

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

1) *в середньому чотири відповіді кожного аспіранта на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 аспіранти; при середній чисельності групи 10 осіб і шести лекційних занять (12 годин) отримуємо: 2·12/10≈ 3 відповіді);*
2) *виконання завдань СРС;*
3) *виконання і захист реферату;*
4) *виконання МКР (дві частини);*
5) *відповідь на екзамені.*

***Система рейтингових балів та критерії оцінювання***

***1. Робота на лекційних заняттях***

Ваговий бал — 3. Максимальна кількість балів аспіранта на всіх заняттях: $\mathbf{r_1}$=3 бали х 3 = **9 балів.**

*Критерії оцінювання:*

**3 бали** — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **2 бали** — відповідь містить несуттєві помилки; **1 бал** — неповна відповідь; **0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

***2. Виконання завдань СРС***

Ваговий бал — 1 (за кожне завдання). Максимальна кількість балів (завдання СРС видаються після кожної лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $\mathbf{r_2}$=1 бал х 10 = **10 балів.** *Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.*

*Критерії оцінювання:*

**1 бал** — в повному об'ємі і вчасно надане завдання; **0 балів** — не вчасно надане завдання.

*Штрафні бали:*

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

***3. Виконання завдань практичних занять***

Ваговий бал — 2. Максимальна кількість балів аспіранта 3 завдання (завдання з практичної роботи видаються після кожного практичного заняття, строк здачі завдання – на наступному практичному занятті): $\mathbf{r_3}$=2 бал х 3 = **6 балів**. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань обов'язкове.

*Критерії оцінювання:*

**2 бали** — в повному об'ємі і вчасно надане завдання; **0 балів** — не вчасно надане виконане завдання.

*Штрафні бали:*

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

***4. Виконання і захист реферату***

Максимальна кількість балів за виконання реферату 12 балів і за захист 3 бали, тобто сумарна кількість балів дорівнює $r_3$= **15.** Тема реферату видається аспіранту на початку семестру, строк здачі – останнє лекційне заняття. Об'єм реферату – до 20 сторінок друкованого тексту (оформлення згідно вимогам ДСТУ 8302:2015). Захист реферату на консультації по дисципліні. *Виконання завдання обов'язкове.*

*Критерії оцінювання (виконання реферату):*

**12 балів** — повне розкриття теми реферату, відповідність вимогам щодо оформлення; **9…11 балів** — повне розкриття теми реферату, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **7…8 балів** — розкриття теми реферату з деякими незначними неточностями, відповідність вимогам щодо оформлення; **4…6 балів** — розкриття теми реферату з деякими неточностями, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **0…3 балів** — тема реферату не розкрита, невідповідність вимогам щодо оформлення – виконання реферату не зараховано.

*Критерії оцінювання (захист реферату):*

**3 бали** — повна вірна відповідь на поставлені питання за темою реферату; **2 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **1 бал** — неповна відповідь; **0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, захист не зараховано.

*Штрафні бали:*

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

*Заохочувальні бали*

– участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозіумах — **5 балів.**

***5. Модульна контрольна робота (МКР)***

Проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини — 5. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_4$=5 х 2 = **10 балів.**

*Критерії оцінювання:*

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

***6. Відповіді на екзамені***

Екзамен проводиться у письмово–усній формі. Екзаменаційний білет складається з трьох теоретичних питань. Перелік питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Перші два теоретичних питання оцінюються по 15 балів, а трете – 20 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконане завдання **15+15+20 = 50 балів**.

*Критерії оцінювання:*

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

– повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – **13…15 (18…20) балів**;

– достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – **10…12 (14…17) балів**;

– неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – **7…9 (11…13) балів**;

– незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше **6 (10) балів**.

***Штрафні бали:***

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

***<u>Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни ($R_d$):</u>***

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

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5.$$

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

<u>Максимально можливий стартовий рейтинг</u>: $R_C$ **= 9+10+6+15+10 = 50 балів.**

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, виконання і захист реферату та стартовий рейтинг не менше 0,5 х Rc = 25 балів.

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

Екзаменаційна складова $R_E$ шкали дорівнює: $\boldsymbol{R_E}$ **= 50 балів.**

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

$$R_D = Rc + R_E = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

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 |

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100–бальною шкалою. При цьому обов’язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Аспірантам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого **(**тобто $\mathbf{R_c \geq 45}$**)**, екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 50 + \frac{50 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де $R$ – оцінка за 100–бальною шкалою;

$R_i$ – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

$R_c$ – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

$R_D$ – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

### Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Аспіранти 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).

Аспіранти 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.* Для аспірантів 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.

**Додаток 1**

## Список питань на екзамен

1. Необхідність виконання розрахунку неоднорідного реактора в два етапи; розрахунок чарунки реактора.
2. Підготовка малогрупової бібліотеки нейтронно-фізичних констант для фізичного розрахунку стаціонарного стану реактора та перехідних режимів експлуатації
3. Задачі фізичного розрахунку реактора
4. Двогрупова дифузійна модель транспорту нейтронів.
5. Одногрупова дифузійна модель транспорту нейтронів.
6. Квазістаціонарні рівняння дифузійної моделі транспорту нейтронів.
7. Кінцево-різницевий метод розрахунку стаціонарного стану реактора. Кінцево-різницеві рівняння стаціонарного стану реактора, ітераційна процедура їх рішення, розподіл ітерацій на внутрішні та зовнішні
8. Блок схема розрахунку стаціонарного стану реактора. Спосіб врахування зворотних зв’язків за концентрацією ксенону та тепло-гідравлічними параметрами активної зони для оцінки їх нерівномірного впливу на просторовий розподіл поля енерговиділення в стаціонарному стані
9. Повільні та швидкі перехідні процеси, методи їх розрахунку
10. Визначення абсолютних значень щільності потоків нейтронів та енерговиділення для оцінки впливу зворотних зв’язків за ксеноном та тепло-гідравлічними параметрами
11. Розв’язок рівнянь кінетики ксенону та самарію для оцінки просторово-часового розподілу їх концентрацій в об’ємі активної зони
12. Адіабатичний підхід до моделювання повільних перехідних процесів. Розрахунок кампанії реактора.
13. Метод врахування швидких зворотніх зв’язків за тепло-гідравлічними параметрами в адіабатичному підході до моделювання повільних перехідних процесів

Методологія розрахунку ксенонових перехідних процесів (оцінка просторово-часового розподілу концентрації ксенону в розрахункових нодах на кінець часового інтервалу за відсутності значення потужності ноди в кінці цього інтервалу при відомому значенні інтегральної потужності реактора). Компенсація реактивності в повільному процесі. Блок-схема розрахунку ксенонових перехідних процесів

14. Миттєві та запізнілі нейтрони. Залежність кількості миттєвих нейтронів від подільного ізотопу та енергії нейтрона, що викликає ділення. Залежність характеристик запізнілих нейтронів (β, λ) від подільного ізотопу та енергії нейтрона, що викликає ділення.

15. З чим пов'язана більша ефективність запізнілих нейтронів у порівнянні з миттєвими нейтронами. Особливості динаміки реактора з паливом, шо рухається.
16. Визначення середньої долі запізнілих нейтронів для палива з декількома подільними ізотопами. Врахування ефективності запізнілих нейтронів в розрахунку швидких перехідних процесів в двогруповому дифузійному наближенні.
17. Рівняння кінетики реактора в двогруповому дифузійному наближенні для палива з одним подільним ізотопом. Кінцево-різницева апроксимація цих рівнянь та блок–схема розрахунку
18. Рівняння кінетики реактора в двогруповому дифузійному наближенні для палива з декількома подільними ізотопами, визначення середньозважених значень β та λ.
19. Кінцево-різницеві рівняння кінетики реактора в двогруповому дифузійному наближенні для палива з декількома подільними ізотопами та середньозваженими значеннями β та λ. Схема розрахунку перехідного процесу з використанням вищезазначеної моделі.
20. Точкове наближення кінетики реактора та його обмеження в використанні. Використання точкової моделі для визначення реактивності в перехідному процесі за методом ОРУК.
21. Використання формалізму спряжених функцій для визначення істинної реактивності. Просторові ефекти реактивності. Локальна реактивність та локальні коефіцієнти реактивності.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** *д.т.н., доцентом, Халімончуком Володимиром Адамовичем*

**Ухвалено** кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 21 від 23.06.2021 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ТЕФ (протокол № 11 від 24.06.2021 р.)