



# Тривимірне моделювання перехідних процесів в реакторах ВВЕР

## Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</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>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній</i>
Об'єм дисципліни	<i>7 кредитів (210 годин); 13 годин лекцій, 4 години практичних занять з урахуванням 40 годин індивідуальних занять ; 145 годин самостійної роботи</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н., ст.викладач, Овдієнко Юрій Миколайович, y.ovdienko@gmail.com</i> Практичні заняття: <i>к.т.н., ст.викладач, Овдієнко Юрій Миколайович, y.ovdienko@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<a href="https://campus.kpi.ua">https://campus.kpi.ua</a> , <a href="https://drive.google.com/drive/u/1/my-drive">https://drive.google.com/drive/u/1/my-drive</a>

## Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни - нейтронно-фізичні процеси в перехідних та аварійних режимах експлуатації ВВЕР-1000, що супроводжуються значними просторовими деформаціями поля енерговиділення і є потенційно небезпечними.

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 розрахунку 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.

Мета даної навчальної дисципліни полягає у формуванні у аспіранта здатностей (компетентностей):

- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у галузі атомної енергетики та дотичних до неї міждисциплінарних на-прямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з атомної енергетики та суміжних галузей.
- Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.
- Здатність до досягнення підсумкової мети дослідження - практичного впровадження або перспективи такого в ракурсі теоретичної науки.
- 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.

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

- 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.

- 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.
- 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 напрямках.
- 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.

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

Дисципліни, які передують даній дисципліні: Моделювання тривимірних задач гідродинаміки та теплообміну в енергетичному устаткуванні.

Дисципліни які базуються на результатах навчання з даної дисципліни: робота над 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. 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.

2. СОУ НАЕК 064:2016 Поводження з ядерним паливом. Перевантаження палива в реакторі ВВЕР-1000. Номенклатура експлуатаційних нейтронно-фізичних розрахунків та експериментів.

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

1. Weston M. Stacey. Nuclear Reactor Physics. Wiley-VCH; 2nd edition, 2007, p. 735.
2. Hetrick, David L. Dynamics of Nuclear Reactors. Amer Nuclear Society, 1993, p.542.
3. Wagner, M.R.: "Tree-Dimensional Nodal Diffusion and Transport Methods for Hexagonal Geometry", Nucl. Sci. Eng. 103, 1989
4. 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.
5. Wagner, M.R.: "Tree-Dimensional Nodal Diffusion and Transport Methods for Hexagonal Geometry", Nucl. Sci. Eng. 103, 1989
6. Studsvik® Scandpower, HELIOS methods, Version 1.8, November 2003
7. 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.
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Incorporation of advanced accident analysis methodology into safety analysis reports IAEA-TECDOC-1351, IAEA, Vienna, 2003. - p.55.
9. Christensen B. Three-dimensional Static and Dynamic Reactor Calculations by the Nodal Expansion Method. Risø National Laboratory, DK-4000 Roskilde, Denmark, May 1985. – 206p.
10. R.J.J.Stammler, M.J.Abbate. Methots of Steady-State Reactor Physics in Nuclear Designh. London: Academic Press, 1983, 506p.
11. Rhodes J., Edenius M. CASMO-4. A fuel assembly burn-up program. Methodology. Report Studsvik/SOA-95/2, Studsvik, 1995. – 306p.

**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
	<b>РОЗДІЛ 1 Розрахунок реактора в стаціонарному стані</b>
	<b>Тема 1.1 Введення в дисципліну. Розрахунок реактора без врахування дії зворотних зв'язків за теплогідравлічними та нейтронно-фізичними параметрами</b>
1	Лекція 1. Предмет та задачі курсу. Місце стаціонарного розрахунку активної зони в дослідженні перехідних режимів експлуатації. Квазістаціонарні рівняння та чисельний розрахунок реактора методом ітерацій. Розрахунок реактора без врахування дії зворотних зв'язків за теплогідравлічними параметрами. Організація внутрішніх та зовнішніх ітерацій. <i>СРС: Дифузійні моделі транспорту нейтронів.</i> <i>Тема індивідуального заняття: Методи рішення дифузійних рівнянь транспорту нейтронів.</i>

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
	<b>Тема 1.2 Розрахунок стаціонарного стану реактора з урахуванням дії зворотних зв'язків за теплогідрравлічними та нейтронно-фізичними параметрами</b>
2	<p>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. Урахування нерівномірного розподілу в активній зоні ядер <math>\text{Xe}^{135}</math> та теплогідрравлічних параметрів. Блок-схема фізичного розрахунку реактора.</p> <p><i>СРС: Параметризація малогрупових нейтронно-фізичних констант за вигоранням та теплофізичними параметрами.</i></p> <p><i>Тема індивідуального заняття: Методи рішення рівнянь транспорту нейтронів для дрібносіткових та спектральних задач.</i></p>
<b>РОЗДІЛ 2 Методологія моделювання повільних перехідних процесів</b>	
	<b>Тема 2.1 Математична модель реактора для дослідження ксенонових перехідних процесів.</b>
3	<p>Лекція 3. Математична модель реактора для дослідження ксенонових перехідних процесів. Початкова умова для розрахунку ксенонового перехідного процесу в початковому стані. Аналітичний розрахунок часової зміни концентрації ядер ксенону та самарію в окремій розрахунковій ноді. Врахування просторо-часової зміни концентрацій ядер ксенону та самарію в повільних перехідних процесах.</p> <p><i>СРС: Відновлення поля енерговиділення в стаціонарному стані експлуатації енергетичного реактора.</i></p> <p><i>Тема індивідуального заняття: Методика розрахунку потвельного розподілу енерговиділення.</i></p> <p><b>Модульна контрольна робота. Частина I</b></p>
4	<p><b>Тема 2.2 Методологія чисельного розрахунку повільного перехідного процесу.</b></p> <p>Лекція 4. Послідовність виконання розрахунку повільного перехідного процесу. Моделювання кампанії реактора, блок-схема розрахунку.</p> <p><i>СРС: Врахування дії параметрів зворотних зв'язків на нерівномірність просторового розподілу поля енерговиділення в стаціонарному стані.</i></p> <p><i>Тема індивідуального заняття: Особливості розрахунку паливних циклів ВВЕР-1000 та ВВЕР-440.</i></p>
<b>РОЗДІЛ 3 Методологія моделювання швидких перехідних процесів</b>	
	<b>Тема 3.1 Моделі для дослідження динаміки реакторів з розподіленими параметрами на основі опису транспорту нейтронів в дифузійному наближенні.</b>
5	<p>Лекція 5. Врахування запізнілих нейтронів в активній зоні з одним та декількома подільними ізотопами. Середньо зважені параметри запізнілих нейтронів для моделі двогрупового дифузійного наближення. Врахування ефективності запізнілих нейтронів. Визначення реактивності в швидкому перехідному процесі (метод ОРУК та істинна реактивність)</p> <p><i>СРС: Загальні і групові характеристики запізнілих нейтронів для різних подільних ізотопів.</i></p> <p><i>Тема індивідуального заняття: Врахування цінності запізнілих нейтронів.</i></p>
	<b>Тема 3.2 Розрахунок швидких перехідних процесів з використанням методу кінцевих різниць в двогруповому дифузійному наближенні.</b>

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
6	<p>Лекція 6. Кінцево-різницеві рівняння, послідовність розрахунку та блок-схема розрахунку. Розрахунок в ході перехідного процесу істинної реактивності, локально розподіленої реактивності та локальних ефектів реактивності. Блок-схема розрахунку швидкого перехідного процесу з урахуванням дії зворотних зв'язків за теплогідрравлічними параметрами та запізненими нейтронами.</p> <p><i>СРС: Розрахунок складових загальної істинної реактивності відповідно до зміни окремих параметрів активної зони.</i></p> <p><i>Тема індивідуального заняття: Кінцево-різницевий алгоритм одногрупової дифузійної моделі для чисельного дослідження швидких перехідних процесів. Порівняння блок-схем розрахунку одно- та двогрупової дифузійних моделей.</i></p>
	<b>Модульна контрольна робота. Частина II</b>

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено практичні заняття

Практичні заняття

№	Назва теми практичних занять
	<b>Розрахунок реактора в стаціонарному стані</b>
1	<p><b>Заняття 1. Структура програми стаціонарного розрахунку реактора в двогруповому дифузійному наближенні.</b></p> <p>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 <math>\text{Xe}^{135}</math>. Розглядається організація внутрішніх та зовнішніх ітерацій.</p> <p><i>Тема індивідуальних занять: Розрахунок двогрупових дифузійних нейтронно-фізичних констант для референсних значень параметрів активної зони. Розрахунок коефіцієнтів параметризації по параметрах активної зони та глибини вигорання палива.</i></p>
2	<p><b>Заняття 2.</b> З використанням учбової програми виконання оцінки величини отруєння реактора в залежності від рівня потужності; розрахунки інтегральної та диференціальної ефективностей одного органу регулювання та захисту.</p> <p><i>Тема індивідуальних занять: Виконання оцінки залежності ефективності органу регулювання від нерівномірності розподілу концентрації ядер <math>\text{Xe}^{135}</math>. Виконання оцінки залежності коефіцієнтів реактивності від рівня отруєння.</i></p>

## 6. Самостійна робота аспіранта

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни не передбачено виконання індивідуального завдання.

Теми, які виносяться на самостійну роботу:

- Параметризація малогрупових нейтронно-фізичних констант за вигоранням та теплофізичними параметрами.

- Параметризація малогрупових нейтронно-фізичних констант за вигоранням та теплофізичними параметрами.
- Відновлення поля енерговиділення в стаціонарному стані експлуатації енергетичного реактора.
- Врахування дії параметрів зворотних зв'язків на нерівномірність просторового розподілу поля енерговиділення в стаціонарному стані.
- Загальні і групові характеристики запізнілих нейтронів для різних подільних ізотопів.
- Розрахунок складових загальної істинної реактивності відповідно до зміни окремих параметрів активної зони.

## **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», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несамостійному виконанню робіт;
- 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 енергетичних 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 англійських онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

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

*Види контролю знань аспірантів з дисципліни:*

- відповіді на лекційних заняттях;
- відповіді на практичних заняттях;
- виконання та захист реферату;
- виконання МКР (дві частини);
- відповідь на екзамені – максимально 50 балів.

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

- 1) дві відповіді в середньому кожного аспіранта на лекційних та практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 аспіранти; при середній чисельності групи 6 осіб і шести лекційних занять та двох практичних занять отримуємо:  $2 \cdot 6 / 8 \approx 2$  відповіді);
- 2) виконання завдань СРС та завдань індивідуальних занять;
- 3) виконання практичних завдань;

- 4) виконання однієї МКР;
- 5) відповідь на екзамені.

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

#### **1. Відповіді на практичних та лекційних заняттях**

Ваговий бал — 3. Максимальна кількість балів аспіранта на всіх заняттях:  $r1=5$  балів  $\times 2 = 10$  балів.

*Критерії оцінювання:*

**5 балів** — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **4 бали** — відповідь має несуттєві похибки; **3 бали** — неповна відповідь; **2...1 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді; **0 балів** — відсутність відповіді.

#### **2. Виконання завдань СРС та завдань індивідуальних занять**

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів аспіранта шість завдань та 4 завдання на індивідуальну роботу (завдання СРС видаються після кожної лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень):  $r2=2$  бали  $\times 10 = 20$  балів. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань обов'язкове.

*Критерії оцінювання:*

**2 бали** — в повному об'ємі і вчасно надане завдання; **1 бал** — вчасно надане завдання, але в не достатньо повному об'ємі; **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):  $r3=5$  балів  $\times 2 = 10$  балів. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань обов'язкове.

*Критерії оцінювання:*

**5 балів** — вірно виконаний розрахунок, проведено аналіз результатів; **4 бали** — виконано розрахунок, але є не значні помилки, проведено аналіз результатів; **3 бали** — виконано розрахунок, але є помилки, проведено аналіз результатів; **2...1 балів** — виконано розрахунок, але є помилки та/або проведено не обґрунтований аналіз результатів; **0 балів** — відсутність виконаного завдання.

#### **Штрафні бали:**

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

#### **Заохочувальні бали**

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

#### **4. Модульна контрольна робота (МКР)**

Проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини — 5. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює  $r4=5 \times 2 = 10$  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.



### 5. Відповідь 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 третє – 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:

– правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – **13...15 (18...20) балів;**

- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – **10...12 (14...17) балів;**
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – **7...9 (11...13) балів;**
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (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**.

*Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (Rd):*

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:  **$Ri = r1 + r2 + r3 + r4$** .

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

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

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, роботи з практичних занять, захист розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 0,5 x  $Rc = 25$  балів.

Аспіранти, які набрали у 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  $RE$  шкали дорівнює:  **$RE = 50$  балів**.

Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає  **$RD = Rc + RE = 50 + 50 = 100$  балів**.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
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 **R<sub>c</sub> 45**), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R=50+50\cdot(R_I-R_D)/(R_C-R_D),$$

де R– оцінка за 100–бальною шкалою;

R<sub>I</sub> – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R<sub>C</sub> – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R<sub>D</sub> – бал допуску до екзамену. D R

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 можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

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 30 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 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-гідрравлічними 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-гідрравлічними 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-гідрравлічними 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 ( $\beta$ ,  $\lambda$ ) 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, що 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  $\beta$  та  $\lambda$ .

19. Кінцево-різницеві рівняння кінетики реактора в двогруповому дифузійному наближенні для палива з декількома подільними ізотопами та середньозваженими значеннями  $\beta$  та  $\lambda$ . 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** к.т.н., ст. викладачем, Овдієнко Юрієм Миколайовичем

**Ухвалено** кафедрою АЕ (*протокол № 20 від 12.06.2024р.*)

**Погоджено** Методичною комісією ІАТЕ (*протокол № 20 від 25.06.2024р.*)