



Динаміка ядерних реакторів

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 Атомна енергетика</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна), заочна (вечерня)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>90 годин/3 кредити ЕКТС, 14 годин лекцій, 4 годин практичних занять, з урахуванням індивідуальних занять 29 годин, 51 година СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит/МКР</i>
Розклад занять	<i>roz.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., Борисенко В.І. Практичні заняття: д.т.н., Борисенко В.І.</i>
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua

Програма навчальної дисципліни

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

Метою викладання навчальної дисципліни «Динаміка ядерних реакторів» є отримання аспірантами базових знань, щодо застосування методів розрахунків динаміки ядерних реакторів.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Динаміка ядерних реакторів» є засвоєння основних методів розрахунку зміни кінетичних параметрів ядерних реакторів, у тому числі:

- Особливості розрахунку різних типів реакторів
- Кінетика реактору з запізнілими нейтронами.
- Методі визначення реактивності
- Визначення реактивності для ядерних реакторів зі зворотними зв'язками
- Динаміка імпульсних реакторів
- Умови стійкості реакторів

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

Пререквізити: Науково-інноваційна діяльність в енергетичній галузі.

Постреквізити: Робота над дисертацією.

3. Зміст навчальної дисципліни

- ТЕМА 1. Кінетика нейтронів в ядерному реакторі.
ТЕМА 2. Нейтрони, що запізнюються, та їх ядра – попередники.
ТЕМА 3. Рівняння обернених годин.
ТЕМА 4. Визначення кінетичних параметрів ядерного реактора
ТЕМА 5. Кінетика реактора зі зворотними зв'язками.
ТЕМА 6. Теорія стійкості ядерного реактора.

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. Weston M. Stacey. Nuclear Reactor Physics. Wiley-VCH; 2nd edition, 2007, p. 735.
3. Hetrick, David L. Dynamics of Nuclear Reactors. Amer Nuclear Society, 1993, p.542.

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

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..

Інформаційні ресурси

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Оскільки навчальна дисципліна пов'язана із дисциплінами фахової підготовки, то її викладання, а особливо виконання індивідуальних завдань, є запорукою подальшого засвоєння аспірантами спеціальних фахових дисциплін, та формування базових основ професійної діяльності.

Лекційні матеріали подаються за допомогою відео проектора. Найбільш важлива інформація для конспектування відображається жирним шрифтом.

Необхідна навчальна література знаходиться в науково-технічній бібліотеці КПІ ім. І.Сікорського та кабінеті курсового та дипломного проектування кафедри АЕ.

ТЕМА 1 Кінетика нейтронів в ядерному реакторі.

Лекція 1. Миттєві нейтрони.

Фізика поділу и кінетика реактора. Нейтронний баланс.

Завдання для самостійної роботи)

Вивчення матеріалу лекції. Вивчити: Фізичні особливості реакції поділу. Опрацювання проблемного матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Рекомендована література: [1, 2, 3, 4, 7]

Індивідуальне заняття 1. Характеристики продуктів поділу.

Розподіл енергій, мас та зарядів продуктів поділу. Миттєві нейтрони, та гама-кванти.

Рекомендована література: [1-4]

ТЕМА 2 Нейтрони, що запізнюються, та їх ядра - попередники

Лекція 2. Нейтрони, що запізнюються.

Експериментальне визначення характеристик нейтронів, що запізнюються. Енергетичні спектри нейтронів, що запізнюються.

Завдання для самостійної роботи

Вивчення матеріалу лекції. Вивчити: основні характеристики нейтронів, що запізнюються. Опрацювання проблемного матеріалу, що винесений на самостійне вивчення. Розв'язок задач домашнього завдання.

Рекомендована література: [1, 3-5, 7]

Індивідуальне заняття 2. Запізніле гамма-випромінення, та фотонейтрони.

Енергетичні спектри запізнілого гамма-випромінення. Характеристики фотонейтронів.

Рекомендована література: [1]

ТЕМА 3 Рівняння обернених годин.

Лекція 3. Зв'язок між реактивністю та періодом реактора.

Водяній сповільнювач нейтронів. Берилієвий сповільнювач. Важководний сповільнювач.

Завдання для самостійної роботи

Вивчення матеріалу лекції. Вивчити: параметри фотонейтронів для різних сповільнювачів. Опрацювання проблемного матеріалу, що винесений на самостійне вивчення. Розв'язок задач домашнього завдання.

Рекомендована література: [1 -5]

Індивідуальне заняття 3. Зв'язок між реактивністю та періодом реактора для складних систем.

Зв'язок між реактивністю та періодом реактора для систем с циркуляцією палива..

Рекомендована література: [1, 3-5]

ТЕМА 4 Визначення кінетичних параметрів ядерного реактора.

Лекція 4. Статистичні методи визначення реактивності.

Визначення коефіцієнта розмноження нейтронів. Критичність реактора. Методі заміщення.

Завдання для самостійної роботи

Вивчення матеріалу лекції. Вивчити: статистичні методи визначення реактивності. Опрацювання проблемного матеріалу, що винесений на самостійне вивчення. Розв'язок задач домашнього завдання.

Рекомендована література [1]

Індивідуальне заняття 4. Динамічні методи визначення реактивності.

Асимптотичний період. Методи збурення реактивності. Метод россі-альфа.

Рекомендована література [1]

ТЕМА 5 Кінетика реактора зі зворотними зв'язками .

Лекція 5. Ефекти реактивності.

Температурні ефекти. Коефіцієнти реактивності.

Завдання для самостійної роботи

Вивчення матеріалу лекції. Вивчити: Ефекти реактивності в ядерних реакторах. Опрацювання проблемного матеріалу, що винесений на самостійне вивчення. Розв'язок задач домашнього завдання.

Рекомендована література [1, 3-5, 7]

Індивідуальне заняття 5. Кінетика реактора зі зворотними зв'язками.

Рівняння кінетика реактора зі зворотними зв'язками. Поведінка ядерного реактора зі зворотними зв'язками.

Рекомендована література [1-7]

ТЕМА 6 Теорія стійкості ядерного реактора.

Лекція 6. Питання нелінійної динаміки.

Властивості рівнянь кінетика реактора зі зворотними зв'язками. Вибухові нестійкості.

Завдання для самостійної роботи

Вивчення матеріалу лекції. Опрацювання проблемного матеріалу, що винесений на самостійне вивчення. Розв'язок задач домашнього завдання.

Рекомендована література [1, 2]

Індивідуальне заняття 6. Просторова стійкість ядерного реактора..

Аналіз стійкості енергетичних реакторів. ВВЕР. РВПК. Киплячий реактор.

Рекомендована література [1, 2]

Лекція 7.

Модульна контрольна робота

Виконуються наступні практичні заняття.

№ з/п	Тема практичного заняття
1.	Практичне заняття 1. Визначення кінетичних параметрів ядерного реактора.
2.	Практичне заняття 2. Динамічні методи визначення реактивності.

6. Самостійна робота аспіранта

Див.п.5.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчання проводиться у вигляді потокових лекцій з використанням відеопроєктора та практичних занять з виконанням завдань та експрес-опитуванням.

Заняття проводяться відповідно до розкладу, запізнення не допускаються. Відвідування занять усіх видів (лекцій та практичних занять) є обов'язковим як при навчанні в аудиторіях, так і при використанні дистанційного режиму навчання. В останньому випадку заняття проводяться в режимі онлайн-конференцій і аспіранти їх «відвідують» під'єднуючись за наданими викладачем посиланням. На практичних заняттях аспіранти, в тому числі, працюють також самостійно, використовуючи довідкову літературу.

Правила поведінки на заняттях – не заважати зайвою діяльністю, розмовами (в тому числі телефоном) іншим аспірантам слухати лекцію. В аудиторіях/лабораторіях та при дистанційному навчанні вдома дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з обладнанням.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів передбачають заохочувальні бали за академічну активність на лекційних заняттях, штрафні бали нараховуються при виявленні фактів порушення правил доброчесності при виконанні контрольних і можуть накладатися у розмірі оцінки передбаченої за конкретну роботу. Модульна контрольна робота пишеться самостійно, користування додатковими матеріалами виключено.

Під час освітнього процесу, а особливо при проведенні контрольних заходів аспіранти зобов'язані дотримуватись положень Кодексу честі та вимог академічної доброчесності (<https://kpi.ua/code>).

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

Поточний контроль: МКР

Семестровий контроль: іспит.

Умови допуску до семестрового контролю: виконаний та зарахований цикл завдань до індивідуальних занять, виконана МКР та загальний бал за всі види робіт не менше 25 балів.

Отримання оцінки з кредитного модуля «автоматом» не передбачено окрім надзвичайних випадків, наприклад, пандемії або дії військового положення.

2. Модульна контрольна робота

Під час семестру виконуються одна модульна контрольна робота яка виконана у вигляді питань. Завдання містить одне питання практичного спрямування. Максимальна оцінка за МКР становить 10 балів:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10-8 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними помилками – 7-5 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 5-3 бали;
- незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 3-0 балів.

У разі відсутності аспіранта на контрольній роботі без поважних причин робота оцінюється в 0 балів.

3. Самостійна робота студента (СРС) – індивідуальні завдання

Під час семестру здобувачі вищої освіти самостійно опрацьовують з доступної літератури та конспектують видане завдання. За вичерпну законспектовану відповідь до рейтингу аспіранта додається 0...10 балів.

Крім цього, кожен аспірант повинен виконати завдання індивідуальних занять, виконання яких оцінюється у 30 балів (6 завдань по 5 балів).

Заохочувальні бали

Сума заохочувальних балів не повинна перевищувати 20 балів. Додатково до рейтингу зараховуються бали:

- за отриманні сертифікати, що підтверджують участь у науково-практичних, наукових конференціях або проходження спеціалізованих курсів (наприклад МАГАТЕ) за тематикою дисципліни (3 бали/сертифікат);
- за публікацію статті у науковому журналі за тематикою дисципліни (10 балів/стаття);
- за ведення охайного конспекту (5 балів).

4. Розрахунок суми основних рейтингових балів

Сума основних рейтингових балів відповідає рейтинговій шкалі (100 балів)

Розрахунок шкали рейтингу:

$$R = 10 (\text{СРС}) + 10 (\text{МКР}) + 30 (\text{ІЗ}) + 50 (\text{іспит}) = 100 \text{ балів.}$$

Система додаткових рейтингових балів та відповідні критерії оцінювання

На іспиті аспіранти виконують письмову роботу. Кожне завдання містить 2 теоретичних питання, кожне з яких оцінюється у 10 балів, та одне практичне завдання, яке оцінюється у 30 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 балів;
- неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 5...6 балів;
- незадовільна відповідь – 0...4 балів.

Система оцінювання практичного завдання:

- повна відповідь без помилок (не менше 90% потрібної інформації) – 27...30 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 21...27 балів;
- неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 15...20 балів;
- незадовільна відповідь – 0...14 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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 $R_c \geq 45$), 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, аспірантів 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)

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).

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;

- перенесення кінцевих термінів виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);
- внесення у рейтингову систему оцінювання змін стосовно нарахування штрафних балів - за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

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

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. *Фізика поділу і кінетика реактора.*
2. *Нейтронний баланс.*
3. *Розподіл енергій, мас та зарядів продуктів поділу.*
4. *Миттєві нейтрони, та гама-кванти.*
5. *Експериментальне визначення характеристик нейтронів, що запізнюються.*
6. *Енергетичні спектри нейтронів, що запізнюються.*
7. *Енергетичні спектри запізненого гамма-випромінення.*
8. *Ефективність нейтронів.*
9. *Цінність нейтронів.*
10. *Рівняння кінетики нейтронів в реакторі.*
11. *Методи рішень рівнянь кінетики нейтронів*
12. *Реактивність реактора.*
13. *Рівняння обернених годин.*
14. *Характеристики фотонейтронів - берилієвий сповільнювач.*
15. *Характеристики фотонейтронів - важководний сповільнювач.*
16. *Визначення коефіцієнта розмноження нейтронів.*
17. *Критичність реактора.*
18. *Методі заміщення.*
19. *Асимптотичний період.*
20. *Методи збурення реактивності.*
21. *Метод россі- альфа.*
22. *Температурні ефекти.*
23. *Коефіцієнти реактивності*
24. *Рівняння кінетика реактора зі зворотними зв'язками.*
25. *Поведінка ядерного реактора зі зворотними зв'язками*
26. *Властивості рівнянь кінетика реактора зі зворотними зв'язками.*
27. *Вибухові нестійкості*
28. *Аналіз стійкості енергетичних реакторів ВВЕР.*
29. *Аналіз стійкості енергетичних реакторів РВПК.*
30. *Аналіз стійкості енергетичних реакторів Киплячий реактор*
31. *Реактивність реактора*
32. *Поведінка реактора під час зміни реактивності*
33. *Зміна ізотопної складу в процесі роботи реактора*
34. *Нейтронно-ксенонові коливання*
35. *Відтворення ядерного палива*
36. *Дослідження простої моделі каналного реактору*
37. *Особливості каналних графітових реакторів*

38. Особливості реакторів на важкій воді.

39. Особливості реакторів на швидких нейтронах.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом каф. АЕ, д-р техн. наук Борисенко В.І.

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

Погоджено Методичною комісією ІАТЕ (*протокол № 10 від 25.06.2024р.*)