



Нестационарні процеси і управління ядерними реакторами

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>143 Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>ОПП Атомні електричні станції</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова, цикл професійної підготовки</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>IV курс, весняний</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС (120 годин), 36 годин лекції, 18 годин лабораторних, 66 годин самостійна робота</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>http://roz.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., Овдієнко Юрій Миколайович, yn_ovdienko@sstc.ua Комп'ютерні практикуми: Гуменюк Дмитро Васильович, dv_gumenyuk@sstc.ua</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=866</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна дасть базові основи з управління ядерним реактором, а студенти мають бути зацікавленими у застосуванні сучасних підходів та інженерних комп'ютерних програм для підвищення безпеки експлуатації реакторної установки при керуванні реакторною установкою.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є процес формування професійної компетентності майбутніх фахівців атомної енергетики на основі освоєння навичок:

- виконувати нейтронно-фізичні розрахунки активних зон ядерних реакторів, що стосуються аналізу перехідних процесів та керування реакторною установкою;
- використовувати сучасні інженерні комп'ютерні програми для підвищення безпеки експлуатації реакторної установки при керуванні реакторною установкою.

Метою викладання навчальної дисципліни є забезпечення готовності до формування професійної компетентності майбутніх фахівців у процесі підготовки у вищій школі. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачів вищої освіти повинні набути фахові компетентності:

- Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності та ядерно-радіаційної безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання атомно-енергетичного комплексу. ФК 2;

- Розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої мети з урахуванням всіх аспектів вирішуваної проблеми, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію обладнання атомно-енергетичного комплексу. ФК 11;
- Здатність використовувати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів у професійній діяльності в галузі. ФК 13;

та удосконалення загальних компетентностей:

- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. ЗК 3;
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК 4;
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. ЗК 5;
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ЗК 7.

Програмними результатами вивчення курсу є:

- Розуміння широкого міждисциплінарного контексту спеціальності 143 Атомна енергетика. ПРН 2.
- Обирати і застосовувати типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи для розв'язування складних спеціалізованих задач і практичних проблем у галузі атомної енергетики; правильно інтерпретувати результати виконаних досліджень та розрахунків. ПРН 3.
- Застосовувати загальне і спеціалізоване програмне забезпечення, а також навички програмування для вирішення професійних завдань в галузі атомної енергетики. ПРН 6.
- Використовувати наукову і технічну літературу, бази даних та інші відповідні джерела інформації для розробки і обґрунтування технічних та управлінських рішень в атомній енергетиці. ПРН 7.
- Визначати та аналізувати нейтронно-фізичні та теплогідравлічні характеристики роботи енергетичних реакторів і технологічного обладнання в умовах зміни режимних та експлуатаційних параметрів. ПРН 22.

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

Для успішного засвоєння дисципліни необхідні базові знання з ядерної та нейтронної фізики, теорії ядерних реакторів та основ експлуатації АЕС.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступна частина.

Тема 1.1. Вступна частина.

Поділ ядер та характеристики ізотопів, що діляться. Залишкове енерговиділення. Класифікація ядерних реакторів. Основні елементи ядерного реактора. Коефіцієнт розмноження реактора.

Розділ 2. Кінетика реактора.

Тема 2.1. Кінетика реактора.

Кінетика «холодного» реактора без урахування нейтронів, що спізнюються. Нейтрони, що спізнюються, їх характеристики. Елементарне рівняння кінетики реактора. Період реактора. Реактивність. Кінетика реакторів з урахуванням шести груп нейтронів, що спізнюються. Формула обернених годин. Період, що встановився, при малих та великих реактивностях. Аналіз перехідних процесів. Зміна щільності потоку нейтронів підкритичного реактора. Пуск ядерного реактора.

Розділ 3. Органи регулювання.

Тема 3.1. Органи регулювання.

Методи вимірювання реактивності. Визначення ефективності поглинаючих стержнів в одностержневих наблизенні. Визначення ефективності поглинаючого стержня в двух-груповому

наближенні. Визначення ефективності поглинаючого стрижня по теорії збурень. Інтерференція стрижнів. Зміна ефективності стрижня від глибини занурення. Ефективність решітки поглинаючих стержнів. Зміна ефективності стрижня від глибини його занурення. Ефективність решітки поглинаючих стержнів. Ефективність стрижня типу нейтронної пастки. Борне регулювання.

Розділ 4. Зміна складу палива.

Тема 4.1. Зміна складу палива.

Вигорання ядерного палива. Зміна ізотопного складу палива в U-Pu циклі. Глибина ви-горання палива. Шлакування реактора. Отруєння реактора ^{135}Xe . Нестационарне отруєння ксеноном при зміні потужності. Стационарне та граничне отруєння реактора ксеноном. Йодна яма. Ксенонові коливання. Отруєння реактора ^{149}Sm . Нестационарне отруєння самарієм при зміні потужності.

Розділ 5. Ефекти і коефіцієнти реактивності і зміна їх при роботі реактора.

Тема 5.1. Ефекти і коефіцієнти реактивності і зміна їх при роботі реактора.

Температурний ефект і температурний коефіцієнт реактивності. Крива температурного ефекту реактора. Аналіз впливу окремих факторів на температурний коефіцієнт реактивності. Ядерний і щільнісний температурні ефекти реактивності. Вплив витоку нейтронів на температурний коефіцієнт реактивності. Потужностний ефект реактивності.

Розділ 6. Перегрузка ядерного палива.

Тема 6.1. Перевантаження ядерного палива.

Способи перевантаження ядерного палива. Режим з безперервним перевантаженням і безперервним перемішуванням палива по всьому об'єму реактора. Режим з перемішуванням палива по радіусу без перемішування по висоті. Режим з безперервним рухом палива від осі активної зони до периферії в циліндричному реакторі нескінченної довжини / від периферії до осі реактора. Періодичне перевантаження ядерного палива.

Розділ 7. Стійкість реактора.

Тема 7.1. Стійкість реактора.

Загальні уявлення про стійкість реактора. Аналіз стійкості динамічної системи, що описується системою диференціальних рівнянь першого порядку. Необхідні і достатні умови стійкості. Реактор без зворотних зв'язків, зі зворотним зв'язком по потужності, з кількома зворотніми зв'язками з різними знаками.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальна і робоча програми дисципліни, РСО, навчально-методичний комплекс.

Основна література

1. Широков С.В. «Нестационарні процеси в ядерних реакторах», К.: 2002г., с. 286.
2. Дементьев, Б.А. Кінетика та регулювання ядерних реакторів/ Б.А. Дементьев. – М.: Атомвидат, 1973. – 292 с.
3. Владимиров В.И. Практичні завдання з експлуатації ядерних реакторів, М: Энергоатомвидат, 1986. — 304 с.
4. Наумов, В.И. Фізичні основи безпеки ядерних реакторів/ В.И. Наумов. — М. : НИЯУ МИФИ, 2013.

Додаткова література

1. Weston M. Stacey. Nuclear Reactor Physics. John Wiley & Sons, 2007 - Pp: 736
2. Bell, G.I., Gladstone, S.; "Nuclear Reactor Theory", Van Nostrand-Reinhold, 1971
3. Rozon, D., Nuclear Reactor Kinetics. Polytechnic International Press, Montreal, QC, 1998.
4. Ott, K. O., Neuhold, R. J., Nuclear Reactor Dynamics. American Nuclear Society, Lagrange Park, IL, 1985.

Інформаційні ресурси

1. Кампус - <http://login.kpi.ua/>
2. www.energoatom.kiev.ua – Офіційний сайт НАЕК «Енергоатом»
3. www.world-nuclear-university.org – Офіційний сайт світового університету з ядерної енергетики.
4. www.iaea.org – Офіційний сайт МАГАТЕ.
5. www.kinr.kiev.ua – Офіційний сайт ІЯД НАН України

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Окрім лекційної частини, що охоплює наведений в розділі 3 зміст навчальної дисципліни, проводяться комп'ютерні практикуми з метою закріплення теоретичного матеріалу та отримання основ роботи з програмним забезпеченням, що використовується для виконання нейтронно-фізичних розрахунків енергетичних ядерних установок. Роботи повинні виконуватися з використанням комп'ютерного коду відповідного спрямування.

1. Комп'ютерний практикум №1. Формування розрахункової схеми чарунки ВВЕР для обраного комп'ютерного коду. Визначення основних нейтронно-фізичних характеристик системи.
2. Комп'ютерний практикум №2. Аналіз залежності коефіцієнта розмноження нейтронів від кроку розташування стрижнів в решітці, та від початкового збагачення палива по ^{235}U .
3. Комп'ютерний практикум №3. Розрахунок зміни ізотопного складу палива від вигорання.
4. Комп'ютерний практикум №4. Визначення вкладу ізотопів урану та плутонію в процес ділення ядерного палива.
5. Комп'ютерний практикум №5. Визначення «ваги» органів регулювання СУЗ з урахуванням зміни долі нейтронів що запізнюються в процесі вигорання палива.
6. Комп'ютерний практикум №6. Визначення коефіцієнтів та ефектів реактивності для чарунки ВВЕР.
7. Комп'ютерний практикум №7. Визначення зміни температурного коефіцієнту реактивності в залежності від концентрації борної кислоти.
8. Комп'ютерний практикум №8. Визначення зміни коефіцієнтів реактивності в залежності від глибини вигорання палива.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота відбувається у вигляді підготовки до аудиторних занять, проведення розрахунків та аналізу результатів за первинними даними, отриманими на комп'ютерних практикумах.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Норми етичної поведінки

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>

Відвідування занять

Відвідування лекцій, практичних занять та консультацій не оцінюється. Однак, студентам рекомендується їх відвідувати, оскільки на них викладається теоретичний та практичний матеріал,

розвиваються навички, необхідні для виконання практичних завдань та успішного написання КР, виконання РР та самостійних робіт.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (згідно "Положення про систему забезпечення якості вищої освіти у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», "Положення про організацію навчального процесу").

Дотримання положень «Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського» (розділи 2 та 3)

Співпраця студентів у розв'язанні проблемних завдань дозволена, але відповіді кожний студент захищає самостійно. Взаємодія студентів під час іспиту категорично забороняється і будь-яка така діяльність буде вважатися порушенням академічної доброчесності згідно принципів університету щодо академічної доброчесності.

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

Види контролю знань студента з дисципліни:

- захист лабораторних робіт;
- виконання МКР (дві частини);
- відповідь на заліку.

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

- 1) виконання та захист лабораторних робіт;
- 2) дві контрольні роботи (одна МКР поділяється на дві годинні контрольні роботи);
- 3) виконання завдань, що виносяться на самостійну роботу
- 4) відповідь на заліку.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Лабораторна робота.

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента за дев'ять лабораторних робіт: $r_{\text{лаб}} = 5 \text{ балів} \times 9 = 45 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

Оцінка за захист звіту з лабораторної роботи складається з двох частин: **2 бали** студент отримує за допуск до виконання лабораторної роботи і **3 бали** за умови правильно оформленого протоколу, вірної обробки даних і своєчасного захисту роботи; за умови невиконання (зниження) показника хоча б з однієї позиції – **(-1) бал**.

2. Модульна контрольна робота.

Проводиться дві частини МКР. Завдання на кожну частину МКР складається з двох теоретичних питань. Ваговий бал кожного питання — 10. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_{\text{МКР}} = 2 \times 10 + 2 \times 10 = 40 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

10 балів — повна вірна відповідь на завдання; **8..9 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **5..7 бали** — неповна відповідь; **3..4 бали** — неповна відповідь з несуттєвими недоліками; **0...2 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, не зараховано.

3. Завдання, що винесено на самостійну роботу

Кожне вчасно виконане завдання оцінюється в 1 бал.

Максимальна кількість балів студента за 15-ть завдань (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_{\text{СРС}} = 1 \text{ бали} \times 15 = 15 \text{ балів}$.

Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

1 бал — повно, вірно і вчасно виконане завдання; за умови невиконання (зниження) показника хоча б з однієї позиції – **(-0,2) бали**.

Також студенти можуть отримати **ззаохочувальні бали**

- ведення конспекту лекцій — **5 балів**.
- оформлення звіту з виконання СРС (за лекційним курсом) — **3 бали**.

4. Залікова контрольна робота

Залікова робота складається з чотирьох теоретичних питань (по 10 балів) Тобто, максимальна кількість балів за виконану залікову роботу становить **40 балів**.

Критерії оцінювання:

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – **10 балів**;
- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – **8...9 балів**;
- неповна відповідь, з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – **4...7 балів**;
- незадовільна відповідь, або її відсутність (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше **3 балів**.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_D):

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

$$R_C = r_{\text{лаб}} + r_{\text{МКР}} + r_{\text{СРС}}$$

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_C = 45+40+15 = 100$ балів.

Необхідною умовою допуску до заліку є зарахування самостійних робіт, захист всіх лабораторних робіт і семестровий рейтинг не менше 30 балів.

Якщо в продовж семестру студент отримав більше 60 балів, він має право отримати оцінку «автоматом» згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою (див. нижче).

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хочуть підвищити оцінку в системі ECTS, виконують залікову контрольну роботу. При цьому до балів за лабораторні роботи ($r_{\text{лаб}}$) та виконання завдань СРС ($r_{\text{СРС}}$) додаються бали за залікову контрольну роботу і ця рейтингова оцінка є остаточною.

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

Залікова складова R_3 шкали дорівнює: **$R_3 = 40$ балів** (не враховуються бали за МКР)

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку (не враховуються бали за МКР) за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_C + R_4 = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

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](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: система Електронний кампус, ресурси платформи дистанційного навчання «Сікорський», сервіс «Google Classroom». Для більш ефективної комунікації з метою розуміння структури навчальної дисципліни і засвоєння матеріалу використовуються сервіси для організації онлайн-конференцій та відеозв'язку (наприклад, «Zoom», «Skype», «Google Meet»), електронна пошта, месенджери (Viber, WhatsApp, Telegram, google документи).

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 10 балів) сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено асистент кафедри АЕС і ІТФ, к.т.н., Овдієнко Юрій Миколайович

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30.06. 2022 р.)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30.06. 2022 р)