



Теплогідравлична ефективність і надійність енергетичного обладнання

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>Атомна енергетика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>7 кредитів, 210 годин: 10 годин лекції, 6 годин практичних занять, 56 годин індивідуальних занять, 138 СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к..т.н, Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com Практичні: к..т.н, Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com Лабораторні: не передбачено</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipr.kpi.ua/mod/resource/view.php?id=90678</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Метою навчальної дисципліни є підготовка аспірантів в галузі атомної енергетики щодо визначення теплогідравличної надійності енергетичного обладнання, прогнозування аварійних режимів та ефективності його роботи. Мета передбачає формування здатностей (компетентностей), які аспірант набуде після вивчення дисципліни:

- Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у галузі атомної енергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з атомної енергетики та суміжних галузей (ФК1).
- 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 (ФК 5).

Предметом вивчення дисципліни є питання надійності теплогідравличних та нейтронно-фізичних процесів в елементах енергетичного обладнання (зокрема ядерних реакторах та допоміжного обладнання АЕС). Результатом вивчення дисципліни мають стати формування та розвиток наступних компетентностей аспірантів:

Будуть досягнуті наступні програмні 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 (ПРН 1).
- Глибоко розуміти сучасні проблеми науково-технічного розвитку науки і техніки враховуючи світові досягнення в галузях енергетики з урахуванням техніко-економічних і екологічних напрямів, знати і застосовувати сучасні технології енерго- та ресурсозбереження (ПРН 8).

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

Пререквізити: Курс відноситься до навчальних дисциплін вільного вибору, який аспіранти можуть обрати враховуючі тематику своїх дисертаційних досліджень, та забезпечується навчальними дисциплінами: «Моделювання тривимірних задач гідродинаміки і теплообміну в енергетичному устаткуванні», «Тривимірне моделювання перехідних процесів в реакторах ВВЕР-1000».

Постреквізити: Результати навчання, набуті при вивченні дисципліни аспіранти використовують під час виконання наукової складової ОП і підготовці дисертаційної роботи.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Фізичні особливості енерговиділення в активній зоні ядерного реактора

Розрахунок поля енерговиділення в активній зоні. Зв'язок тепловиділення в регулюючому стрижні з його ефективністю. Тепловиділення в реакторі, властивості якого істотно змінюються при нагріванні теплоносія. Актуальні питання оперативного контролю активних зон.

Тема 2. Актуальні проблеми радіаційного матеріалознавства внутрішньокорпусних пристроїв.

Фізичні особливості радіаційних ефектів. Вплив теплофізичних факторів на надійність активних зон. Тверді ядерні паливні матеріали. Вплив опромінення на тверде ядерне паливо. Конструктивні особливості ТВЕЛ для основних типів ТВЕЛ для окремих типів реакторів.

Тема 3. Технологічні аспекти забезпечення експлуатаційної надійності ядерного палива в ТВЕЛ.

Перспективи використання змішаного оксидного палива в енергетичних ядерних реакторах. Технологічні особливості виробництва основних видів ядерного палива на основі керамічного палива. Теплофізика ТВЕЛ на основі компактної двоокису урану. Технологічні особливості виробництва ТВЕЛ на основі карбідного і нітридного палива.

Тема 4. Теплофізика контактного теплообміну в елементах конструкції ТВЕЛ.

Фізичні особливості теплової провідності контактних плям. Теплова провідність суцільних кордонів у конструкційних елементах ТВЕЛ. Теплова провідність контакту твердих поверхонь елементів ТВЕЛ.

Тема 5. Теплофізичні розрахунки параметрів експлуатації ТВЕЛ.

Конструктивні особливості каналів охолодження активних зон. Температурні режими ТВЕЛ. Особливості контактного теплообміну в ТВЕЛ. Методи контролю теплофізичних параметрів ТВЕЛ в перехідних режимах ЯР. Термічні напруги в ТВЕЛ.

Тема 6. Теплогідравлічна надійність реакторних каналів.

Особливості циркуляції теплоносія в першому контурі. Основні види розрахункових схем циркуляційних контурів реакторних установок. Структура і послідовність теплогідравлічного розрахунку. Основні показники теплогідравлічної надійності активних зон. Визначальні параметри і функції надійності. Особливості теплогідравлічних процесів в теплообмінному обладнанні АЕС. Взаємозв'язок теплогідравлічних і геометричних характеристик активної зони. Фактори теплової і гідравлічної нерівномірності активної зони. Основи розрахунку тепло гідравлічної надійності реакторних каналів.

Тема 7. Проблеми забезпечення теплогідравлічної надійності каналів водоохолоджуючих ядерних реакторів.

Теплофізика надійності ТВЕЛ в структурі тепловиділяючих збірок в штатних і аварійних режимах експлуатації. Актуальні проблеми розрахунку аварійних теплогідравлічних процесів в ТВС. Вібраційні характеристики ТВЕЛ в умовах поверхневого кипіння теплоносія в водоохолоджуючих реакторах некиплячого типу.

Тема 8. Надійність циркуляції теплоносія в активній зоні в штатних і аварійних режимах експлуатації ЯЕУ.

Теплофізика природної циркуляції однофазного теплоносія. Реалізація природної циркуляції теплоносія в ГЦК при незалежній роботі теплообмінного обладнання ЯЕУ. Шляхи форсування

теплової потужності, що відводиться в режимі природної циркуляції. Теплофізика циркуляції двухфазної пароводяної суміші. Фактори розшарування потоку пароводяної суміші. Функціонування контуру природної циркуляції при аварійному зниженні тиску.

Тема 9. Стохастична гідродинаміка пульсаційних режимів руху теплоносія в активній зоні

Пульсації однофазного теплоносія в реакторних каналах. Методичні особливості фізичного моделювання пульсаційних режимів в турбулентних однофазних потоках. Методи експериментального аналізу структури і пульсаційних течій. Фізичні особливості і характеристики коливальної нестійкості в парогенеруючих каналах. Основні напрямки підвищення теплогідравлічної надійності активних зон.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Основи теплогідравліки ядерних енергетичних установок: навчальний посібник / Каденко І.М., Харитонов О.М., Ермоленко Р.В. – Київ: видавництво КНУТШ, 2010. – 359 с.
2. Теплофізика поврежденных реакторных установок: монография / А. А. Ключников, И. Г. Шараевский, Н. М. Фиалко, Л. Б. Зимин, Н. И. Шараевская. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2013. – 528 с.
3. Теплофізика надежности активных зон: монография / А. А. Ключников, И. Г. Шараевский, Н. М. Фиалко и др. ; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль (Киев. обл.) : Ин-т проблем безопасности АЭС, 2015. – 772 с.
4. Теплофізика аварий ядерных реакторов: монография / А. А. Ключников, И. Г. Шараевский, Н. М. Фиалко, Л. Б. Зимин, Е. И. Шараевская. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012. – 528 с.

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

5. Мигров Ю. А. Теплогидравлические расчетные коды нового поколения. Общая характеристика и перспективы развития / Ю. А. Мигров, С. Л. Соловьев // Теплогидравлические коды для энергетических реакторов (разработка и верификация) : Материалы конф. «Теплофізика-2001». — Обнинск, 2001. — С. 13—16.
6. Нигматулин Б. И. Состояние и развитие отечественных системных теплогидравлических кодов для моделирования аварийных и нестационарных процессов на АЭС с ВВЭР / Б. И. Нигматулин, О. И. Мелихов, С. Л. Соловьев // Теплоэнергетика. — 2001. — № 3. — С. 17—20.
7. Казачков И. В. Моделирование теплогидравлических процессов при тяжелых авариях на АЭС / И. В. Казачков, Али Хасан Могоддам. — К. : НТУУ «КПИ», 2008. — 172 с.
8. Sehgal B. R. Nuclear Safety in Light Water Reactors: Severe Accident Phenomenology. — 2012. — 740 p. — (ISBN: 0123884462).
9. Theofanous T. G., Liu C., Addition S., Angelini S., Kimalaintn O. and Salmas T. In-vessel coolability and retention of a core melt // DOE/ TO-10460. — 1994.
10. Kymalainen O., Tuomisto H., Theofanous T. G. In-vessel retention of corium at the Loviisa Plant // Nuclear Engineering and Design. — 1997. — Vol. 169. — P. 109—130.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
1.	<p style="text-align: center;">ВСТУП</p> <p>Лекція 1. Предмет та задачі курсу. Основні проблеми підвищення теплогідравлічної надійності об'єктів атомної енергетики.</p>
Тема 1. Фізичні особливості енерговиділення в активній зоні ядерного реактора	

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
2.	<p align="center">Питання 1.1 Поверхнева енергія і по 9шверхневий натяг</p> <p>Лекція 2. Розрахунок поля енерговиділення в активній зоні. Актуальні питання оперативного контролю активних зон. СРС: Зв'язок тепловиділення в регулюючому стрижні з його ефективністю. Тепловиділення в реакторі, властивості якого істотно змінюються при нагріванні теплоносія.</p>
Тема 3. Технологічні аспекти забезпечення експлуатаційної надійності ядерного палива в ТВЕЛ.	
3.	<p>Лекція 3. Перспективи використання змішаного оксидного палива в енергетичних ядерних реакторах. Технологічні особливості виробництва основних видів ядерного палива на основі керамічного палива. СРС: Теплофізика ТВЕЛ на основі компактної двоокису урану. Технологічні особливості виробництва ТВЕЛ на основі карбідного і нітридних палив</p>
Тема 6. Теплогідрравлічна надійність реакторних каналів.	
4.	<p>Лекція 4. Особливості циркуляції теплоносія в першому контурі. Основні види розрахункових схем циркуляційних контурів реакторних установок. Особливості теплогідрравлічних процесів в теплообмінному обладнанні АЕС. СРС: Взаємозв'язок теплогідрравлічних і геометричних характеристик активної зони. Фактори теплової і гідрравлічної нерівномірності активної зони.</p>
Тема 7. Проблеми забезпечення теплогідрравлічної надійності каналів водоохолоджуючих ядерних реакторів.	
5.	<p>Лекція 5. Теплофізика надійності ТВЕЛ в структурі тепловиділяючих збірок в штатних і аварійних режимах експлуатації. СРС: Вібраційні характеристики ТВЕЛ в умовах поверхневого кипіння теплоносія в водоохолоджуючих реакторах некиплячого типу.</p>

На індивідуальне засвоєння пропонується наступний обсяг лекційного навчального матеріалу загальним обсягом 44 години:

Тема 2. Актуальні проблеми радіаційного матеріалознавства внутрішньокорпусних пристроїв.

Фізичні особливості радіаційних ефектів. Вплив теплофізичних факторів на надійність активних зон. (2 години)

Тверді ядерні паливні матеріали. (2 години)

Вплив опромінення на тверде ядерне паливо. (2 години)

Конструктивні особливості ТВЕЛ для основних типів ТВЕЛ для окремих типів реакторів. (2 години)

Тема 4. Теплофізика контактного теплообміну в елементах конструкції ТВЕЛ.

Фізичні особливості теплової провідності контактних плям. (2 години)

Теплова провідність суцільних кордонів у конструкційних елементах ТВЕЛ. (1 година)

Теплова провідність контакту твердих поверхонь елементів ТВЕЛ. (2 години)

Тема 5. Теплофізичні розрахунки параметрів експлуатації ТВЕЛ.

Конструктивні особливості каналів охолодження активних зон. (2 години)

Температурні режими ТВЕЛ. Особливості контактного теплообміну в ТВЕЛ. (1 година)

Методи контролю теплофізичних параметрів ТВЕЛ в перехідних режимах ЯР. (2 години)

Термічні напруги в ТВЕЛ. (2 години)

Тема 6. Теплогідрравлічна надійність реакторних каналів.

Структура і послідовність теплогідрравлічного розрахунку. (2 години)

Основні показники теплогідрравлічної надійності активних зон. (1 година)

Визначальні параметри і функції надійності. (2 години)

Тема 8. Надійність циркуляції теплоносія в активній зоні в штатних і аварійних режимах експлуатації ЯЕУ.

Теплофізика природної циркуляції однофазного теплоносія. (2 години)

Реалізація природної циркуляції теплоносія в ГЦК при незалежній роботі теплообмінного обладнання ЯЕУ. (2 години)

Шляхи форсування теплової потужності, що відводиться в режимі природної циркуляції. (2 години)

Теплофізика циркуляції двофазної пароводяної суміші. (1 година)

Фактори розшарування потоку пароводяної суміші. Функціонування контуру природної циркуляції при аварійному зниженні тиску. (2 години)

Тема 9. Стохастична гідродинаміка пульсаційних режимів руху теплоносія в активній зоні

Пульсації однофазного теплоносія в реакторних каналах. (2 години)

Методичні особливості фізичного моделювання пульсаційних режимів в турбулентних однофазних потоках. (2 години)

Методи експериментального аналізу структури і пульсаційних течій. (2 години)

Фізичні особливості і характеристики коливальної нестійкості в парогенеруючих каналах. (2 години)

Основні напрямки підвищення теплогідрравлічної надійності активних зон. (2 години)

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Тема 6. Теплогідрравлічна надійність реакторних каналів.	
1.	Заняття 1. Основи розрахунку теплогідрравлічної надійності реакторних каналів. СРС: Виконати оціночні розрахунки для даних своєї дисертаційної роботи
Тема 7. Проблеми забезпечення теплогідрравлічної надійності каналів водоохолоджуючих ядерних реакторів.	
2.	Заняття 2. Актуальні проблеми розрахунку аварійних теплогідрравлічних процесів в ТВС. СРС: Підготувати доповідь стосовно аварійних режимів роботи обкладання відповідно до тематики дисертаційної роботи.
3.	Заняття 3. Модульна контрольна робота

На індивідуальне засвоєння наступний обсяг практичних занять загальним обсягом 12 годин:

Тема 6. Теплогідрравлічна надійність реакторних каналів.

Структура і послідовність теплогідрравлічного розрахунку.

6. Самостійна робота

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання певних теоретичних завдань СРС (видається після лекцій та практичних занять). Оскільки обсяг лекційних занять не може охопити всього об'єму курсу, то опанування всього навчального матеріалу

передбачає індивідуальну роботу аспіранта з відповідним узгодженням тем для опрацювання з викладачем. Загальний обсяг самостійної роботи аспіранта 145 годин.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Викладачі курсу очікують від аспірантів активного залучення та безпосередньої участі у опануванні дисципліни, зокрема:

- відвідування занять (лекцій, практичних);
- дотримання правил поведінки на заняттях (активність, уникнення телефонних розмов під час аудиторних занять, зосередженість на матеріалі заняття, відключення телефонів, використання відповідних засобів для оперативного пошуку інформації);
- оперативне реагування на запити та питання викладача;
- розуміння та виконання рейтингової системи оцінювання (PCO);
- дотримання політики дедлайнів та перескладань;
- дотримання політики щодо академічної доброчесності;

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: опитування на лекційних та практичних заняттях, МКР

Семестровий контроль: екзамен

Нарахування балів за роботу в семестрі відбувається наступним чином:

	кількість	бали		сума балів
Лекційні заняття	5	2 відповіді на всіх заняттях	5	10
Практичні заняття	2	відповіді на занятті	4	8
Виконання завдань індивідуальних занять	2	виконання індивідуальних завдань	5	10
Модульна контрольна робота	1		22	22
Сума вагових балів контрольних заходів				50

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

1. МКР: (22 бали)

«відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 20...22 балів;

«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 16...19 балів;

«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 13...15 балів;

2. Виконання завдань індивідуальних занять: «відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 5 балів;

«добре», глибоке розкриття питань – 4..3 бали;

«задовільно» – 1..2 бали;

немає відповіді – 0 балів

2. Лекційне заняття (з розрахунку 2 відповіді по 5 балів)

творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 5 балів;

неповне розкриття питань, достатнє володіння матеріалом – 2...4 бал;

немає відповіді – 0...1 балів;

3. Практичне заняття: (з розрахунку два питання за заняття по 4 бали)

«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 4 бали;

«добре», достатнє розкриття питань – 2...3 бали;
немає відповіді – 0...1 бал.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

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

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

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 10+8+10+22 = 50$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, виконання завдань індивідуальних занять та стартовий рейтинг не менше 25 балів.

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

Екзаменаційна складова R_3 шкали дорівнює: $R_3 = 50$ балів

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

$$R_D = R_c + R_3 = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

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 аспірантом 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 аспірантом продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Аспіранти, 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

Перелік питань до екзамену

1. Розрахунок поля енерговиділення в активній зоні.
2. Зв'язок тепловиділення в регулюючому стрижні з його ефективністю. Тепловиділення в реакторі, властивості якого істотно змінюються при нагріванні теплоносія.
3. Актуальні питання оперативного контролю активних зон.
4. Фізичні особливості радіаційних ефектів. Вплив теплофізичних факторів на надійність активних зон.
5. Тверді ядерні паливні матеріали.
6. Вплив опромінення на тверде ядерне паливо.
7. Конструктивні особливості ТВЕЛ для основних типів ТВЕЛ для окремих типів реакторів.
8. Перспективи використання змішаного оксидного палива в енергетичних ядерних реакторах.
9. Технологічні особливості виробництва основних видів ядерного палива. на основі керамічного палива.
10. Теплофізика ТВЕЛ на основі компактної двоокису урану.
11. Технологічні особливості виробництва ТВЕЛ на основі карбідного і нітридних палива.
12. Фізичні особливості теплової провідності контактних плям.
13. Теплова провідність суцільних кордонів у конструкційних елементів ТВЕЛ.
14. Теплова провідність контакту твердих поверхонь елементів ТВЕЛ.
15. Конструктивні особливості каналів охолодження активних зон.
16. Температурні режими ТВЕЛ. Особливості контактного теплообміну в ТВЕЛ.
17. Методи контролю теплофізичних параметрів ТВЕЛ в перехідних режимах ЯР.
18. Термічні напруги в ТВЕЛ.
19. Особливості циркуляції теплоносія в першому контурі.

20. Основні види розрахункових схем циркуляційних контурів реакторних установок.
21. Структура і послідовність теплогідравлічного розрахунку.
22. Основні показники теплогідравлічної надійності активних зон.
23. Визначальні параметри і функції надійності.
24. Особливості теплогідравлічних процесів в теплообмінному обладнанні АЕС.
25. Фактори теплової і гідравлічної нерівномірності активної зони.
26. Основи розрахунку тепло гідравлічної надійності реакторних каналів.
27. Теплофізика надійності ТВЕЛ в структурі тепловиділяючих збірок в штатних і аварійних режимах експлуатації.
28. Актуальні проблеми розрахунку аварійних теплогідравлічних процесів в ТВС.
29. Вібраційні характеристики ТВЕЛ в умовах поверхневого кипіння теплоносія в водоохолоджуючих реакторах некиплячого типу.
30. Теплофізика природної циркуляції однофазного теплоносія.
31. Реалізація природної циркуляції теплоносія в ГЦК при незалежній роботі теплообмінного обладнання ЯЕУ.
32. Шляхи форсування теплової потужності, що відводиться в режимі природної циркуляції.
33. Теплофізика циркуляції двухфазної пароводяної суміші.
34. Фактори розшарування потоку пароводяної суміші. Функціонування контуру природної циркуляції при аварійному зниженні тиску.
35. Пульсації однофазного теплоносія в реакторних каналах.
36. Методичні особливості фізичного моделювання пульсаційних режимів в турбулентних однофазних потоках.
37. Методи експериментального аналізу структури і пульсаційних течій.
38. Фізичні особливості і характеристики коливальної нестійкості в парогенеруючих каналах.
39. Основні напрямки підвищення теплогідравлічної надійності активних зон.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем каф. АЕС і ІТФ, к.т.н., Воробйовим Микитою Валерійовичем

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 19 від 09.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 11 від 24.06.2021)