



# 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>142 Енергетичне машинобудування</i>
Освітня програма	<i>Енергетичне машинобудування</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: 18 годин лекцій 6 годин практичних занять, 54 години індивідуальних занять, 138 СРС</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, доц. Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com</i> Практичні: <i>к.т.н, доц. Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<a href="https://do.ipk.kpi.ua/mod/resource/view.php?id=90678">https://do.ipk.kpi.ua/mod/resource/view.php?id=90678</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Метою навчальної дисципліни є підготовка аспірантів в галузі енергетичного машинобудування 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 сфері енергетичного машинобудування та дотичних до неї міждисциплінарних напрямів і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з енергетичного машинобудування та суміжних галузей (ФК1).
- Здатність формулювати наукову проблему (задачу), що має теоретичне та практичне значення в галузі енергетичного машинобудування, 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 електростанцій). Результатом вивчення дисципліни мають стати формування та розвиток програмних результатів навчання:

- Мати передові концептуальні та методологічні знання з енергетичного машинобудування 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 та енергетичного машинобудування з урахуванням техніко-економічних і екологічних напрямів, знати і застосовувати сучасні технології енерго- та ресурсозбереження.

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

**Пререквізити:** «Моделювання тривимірних задач гідродинаміки і теплообміну в енергетичному устаткуванні», «Теорія переносу».

**Постреквізити:** результати навчання, набуті при вивченні дисципліни аспіранти використовують під час виконання наукової складової ОП.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Фізичні особливості енерговиділення в активній зоні ядерного реактора

Тема 2. Актуальні проблеми радіаційного матеріалознавства внутрішньокорпусних пристроїв.

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

Тема 4. Теплофізика контактного теплообміну в елементах конструкції ТВЕЛ.

Тема 5. Теплофізичні розрахунки параметрів експлуатації ТВЕЛ.

Тема 6. Теплогідрравлічна надійність реакторних каналів.

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

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

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

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

### Базова (підручники, навчальні посібники) література

1. Основи теплогідрравліки ядерних енергетичних установок: навчальний посібник / Каденко І.М., Харитонов О.М., Єрмоленко Р.В. – Київ: видавництво КНУТШ, 2010. – 359 с.

2. Sehgal B. R. Nuclear Safety in Light Water Reactors: Severe Accident Phenomenology. — 2012. — 740 p. — (ISBN: 0123884462).

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

3. Гідрогазодинаміка. Курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика, / В.М. Турик; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,37 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 145 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41225>).

4. 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.

5. 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.

6. Василенко С.М. Основи тепломасообміну/ С.М. Василенко, А.І.Українець, В.В.Олішевський — К.: НУХТ, 2004. — 250 с.

## Навчальний контент

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

#### Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
1.	<b>ВСТУП</b> <b>Лекція 1</b> Предмет та задачі курсу. Основні проблеми підвищення теплогідрравлічної надійності об'єктів атомної енергетики.
<b>Тема 1. Фізичні особливості енерговиділення в активній зоні ядерного реактора</b>	
2.	<b>Лекція 2</b> Розрахунок поля енерговиділення в активній зоні. Актуальні питання оперативного контролю активних зон. <b>СРС:</b> Зв'язок тепловиділення в регулюючому стрижні з його ефективністю. Тепловиділення в реакторі, властивості якого істотно змінюються при нагріванні теплоносія.

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
<b>Тема 2. Актуальні проблеми радіаційного матеріалознавства внутрішньокорпусних пристроїв.</b>	
3.	<b>Лекція 3</b> Фізичні особливості радіаційних ефектів. Вплив теплофізичних факторів на надійність активних зон. Тверді ядерні паливні матеріали. Вплив опромінення на тверде ядерне паливо.
<b>Тема 3. Технологічні аспекти забезпечення експлуатаційної надійності ядерного палива в ТВЕЛ</b>	
4.	<b>Лекція 4</b> Перспективи використання змішаного оксидного палива в енергетичних ядерних реакторах. Технологічні особливості виробництва основних видів ядерного палива. на основі керамічного палива.
5.	<b>Лекція 5</b> Теплофізика ТВЕЛ на основі компактної двоокису урану. Технологічні особливості виробництва ТВЕЛ на основі карбідного і нітридних палив
<b>Тема 4. Теплофізика контактного теплообміну в елементах конструкції ТВЕЛ</b>	
6.	<b>Лекція 6</b> Фізичні особливості теплової провідності контактних плям. (2 години) Теплова провідність суцільних кордонів у конструкційних елементах ТВЕЛ.
<b>Тема 5. Теплофізичні розрахунки параметрів експлуатації ТВЕЛ</b>	
7.	<b>Лекція 7</b> Температурні режими ТВЕЛ. Особливості контактного теплообміну в ТВЕЛ. Методи контролю теплофізичних параметрів ТВЕЛ в перехідних режимах ЯР. Термічні напруги в ТВЕЛ.
<b>Тема 6. Теплогідрравлічна надійність реакторних каналів</b>	
8.	<b>Лекція 8</b> Особливості циркуляції теплоносія в першому контурі. Основні види розрахункових схем циркуляційних контурів реакторних установок. Особливості теплогідрравлічних процесів в теплообмінному обладнанні АЕС.
9.	<b>Лекція 9</b> Структура і послідовність теплогідрравлічного розрахунку. Основні показники теплогідрравлічної надійності активних зон.

На індивідуальне засвоєння пропонується наступний лекційний матеріал загальним обсягом 36 годин:

**Тема 2. Актуальні проблеми радіаційного матеріалознавства внутрішньокорпусних пристроїв**

Конструктивні особливості ТВЕЛ для основних типів ТВЕЛ для окремих типів реакторів.

**Тема 4. Теплофізика контактного теплообміну в елементах конструкції ТВЕЛ**

Теплова провідність контакту твердих поверхонь елементів ТВЕЛ.

**Тема 5. Теплофізичні розрахунки параметрів експлуатації ТВЕЛ**

Конструктивні особливості каналів охолодження активних зон.

**Тема 6. Теплогідрравлічна надійність реакторних каналів**

Визначальні параметри і функції надійності.

**Тема 7. Проблеми забезпечення теплогідрравлічної надійності каналів водоохолоджуючих ядерних реакторів**

Теплофізика надійності ТВЕЛ в структурі тепловиділяючих збірок в штатних і аварійних режимах експлуатації. 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. Теплофізика циркуляції двофазної пароводяної суміші. Реалізація природної циркуляції теплоносія в ГЦК при незалежній роботі теплообмінного обладнання ЯЕУ. Шляхи форсування теплової потужності, що відводиться в режимі природної циркуляції.

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.

#### Практичні заняття

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

На індивідуальне засвоєння матеріалу практичних занять виноситься 12 годин:

#### Тема 6. Теплогідравлічна надійність реакторних каналів

Структура і послідовність теплогідравлічного розрахунку.

#### 6. Самостійна робота

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання певних завдань СРС (видається після лекцій та практичних занять). Оскільки обсяг лекційних занять не може охопити всього об'єму курсу, то опанування навчального матеріалу передбачає індивідуальну роботу аспіранта з відповідним узгодженням тем для опрацювання з викладачем. Загальний обсяг самостійної роботи аспіранта 138 годин.

Питання, які виносяться на СРС:

1. Конструктивні особливості ТВЕЛ для основних типів ТВЕЛ для окремих типів реакторів.
2. Теплова провідність контакту твердих поверхонь елементів ТВЕЛ.
3. Конструктивні особливості каналів охолодження активних зон.
4. Визначальні параметри і функції надійності.
5. Теплофізика надійності ТВЕЛ в структурі тепловиділяючих збірок в штатних і аварійних режимах експлуатації.
6. Вібраційні характеристики ТВЕЛ в умовах поверхневого кипіння теплоносія в водоохолоджуючих реакторах некиплячого типу.
7. Теплофізика природної циркуляції однофазного теплоносія.
8. Теплофізика циркуляції двофазної пароводяної суміші.
9. Реалізація природної циркуляції теплоносія в ГЦК при незалежній роботі теплообмінного обладнання ЯЕУ.
10. Шляхи форсування теплової потужності, що відводиться в режимі природної циркуляції.
11. Фактори розшарування потоку пароводяної суміші.
12. Функціонування контуру природної циркуляції при аварійному зниженні тиску.
13. Пульсації однофазного теплоносія в реакторних каналах.
14. Методичні особливості фізичного моделювання пульсаційних режимів в турбулентних однофазних потоках.
15. Методи експериментального аналізу структури і пульсаційних течій.
16. Фізичні особливості і характеристики коливальної нестійкості в парогенеруючих каналах.
17. Основні напрямки підвищення теплогідравлічної надійності активних зон.
18. Оціночні розрахунки теплогідравлічної надійності реакторних каналів для даних своєї дисертаційної роботи.
19. Розрахунки аварійних теплогідравлічних процесів роботи обладнання відповідно до тематики дисертаційної роботи.

## 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 (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 онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: опитування на лекційних та практичних заняттях, МКР

Семестровий контроль: екзамен

*Умови допуску до семестрового контролю:* мінімально позитивна оцінка за опитуваннями, виконання завдань СРС по лекційній та практичній частині, виконання і захист індивідуальних завдань, а також загальний семестровий рейтинг не менше 30 балів.

Нарахування балів за роботу в семестрі відбувається наступним чином:

	кількість	бали		сума балів
Лекційні заняття	9	2 відповіді на всіх заняттях	4	8
Практичні заняття	3	2 відповіді на двох заняттях	4	8
Індивідуальні заняття	2	виконання індивідуальних завдань	6	12
Самосійна робота студента (СРС)	6	опитування за темами СРС	2	12
Модульна контрольна робота	1		10	10
Сума вагових балів контрольних заходів				50

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

1. Лекційне заняття (з розрахунку 2 відповіді по 4 бали)
  - творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 4 бали;
  - неповне розкриття питань, достатнє володіння матеріалом – 2...3 бали;
  - немає відповіді – 0 балів.
2. Практичне заняття: (з розрахунку два опитування на двох заняттях по 4 бали)
  - творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 4 бали;
  - достатнє розкриття питань – 2...3 бали;
  - немає відповіді – 0 балів.
3. Виконання завдань індивідуальних занять:
  - творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 6 балів;
  - глибоке розкриття питань – 4..5 балів;
  - достатньо розкрито питання – 1..3 бали.
4. Самосійна робота студента (СРС):
  - творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 2 бали;
  - неповне розкриття питань, достатнє володіння матеріалом – 1 бал;
  - немає відповіді – 0 балів.
5. МКР: (10 балів)

Модульна контрольна робота складається з двох теоретичних питань відповідно до переліку питань які виносяться на СРС, кожне з яких оцінюється наступним чином

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 4,5...5 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 3,5...4 бали;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 2,5...3 бали;
- немає відповіді (менше 60% потрібної інформації) або значні помилки – 0 балів.

#### 6. Екзамен

Екзамен проводиться у письмово–усній формі. Екзаменаційне завдання складається з трьох теоретичних питань. Перелік теоретичних питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Перші два теоретичних питання оцінюються по 13 балів, а третє – 14 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконане завдання  $16+17+17 = 50$  балів.

Критерії оцінювання:

Кожне теоретичне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

Повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15...16 (16...17) балів;

достатньо повна відповідь, (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13...14 (14...15) балів;

неповна відповідь, (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10...12 (11...13) балів;

незадовільна відповідь, або (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 0 балів.

#### 7. Заохочувальні і штрафні бали

В продовж семестру студент може отримати заохочувальні та штрафні бали. Ці бали враховуються при визначенні загального рейтингу студента.

*Конспект лекцій (заохочувальні бали)* 1...5

Сертифікат проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни (заохочувальні бали) 1...5

Сертифікат, який підтверджує участь у науково–практичних або наукових конференціях за тематикою дисципліни (заохочувальні бали) 1...5

**Штрафні бали:** додаткове питання з тем лекційного курсу та практичних занять отримують студенти, які не брали– участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на **2** бали

#### **Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни ( $R_d$ ):**

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

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

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

Максимально можливий стартовий рейтинг:  $R_c = 8+8+12+12+10 = 50$  балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше  $0,5 \times R_c = 25$  балів, при умові зарахування всіх завдань індивідуальних завдань та завдань СРС.

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

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

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

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

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо

виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Аспірантам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто  $R_c \geq 45$ ), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

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

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.

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://osvita.kpi.ua/2020_7-170), [https://document.kpi.ua/files/2020\\_7-170.pdf](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. 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 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. Визначення 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 двооксиурану.
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 т/о обладнання ЯЕУ.
32. Шляхи форсування теплової потужності, що відводиться в режимі природної циркуляції.
33. Теплофізика циркуляції двофазної 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** доцентом кафедри, к.т.н., *Воробйовим Микитою Валерійовичем*

**Ухвалено** кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30.06.2022 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30.06.2022 р.)