

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

КАФЕДРА АВТОМАТИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОНТРОЛЬ НА АЭС (OPERATING SAFETY  
AND CONTROL ON NPP)**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

| Семестр | Трудоемкость,<br>кред. | Общий объем<br>курса, час. | Лекции, час. | Практич.<br>занятия, час. | Лаборат. работы,<br>час. | В форме<br>практической<br>подготовки, час. | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы)<br>контроля,<br>экз./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------------|
| 2       | 3                      | 108                        | 15           | 0                         | 15                       |                                             | 78        | 0         | 30                                       |
| Итого   | 3                      | 108                        | 15           | 0                         | 15                       | 15                                          | 78        | 0         |                                          |

## **АННОТАЦИЯ**

Данная дисциплина является основой для получения магистрантами знаний о том, какое место занимают задачи управления нейтронно-физическими параметрами ЯЭУ и обеспечения безопасной эксплуатации в жизнедеятельности АЭС, о том какие задачи стоят перед службами инженерной поддержки эксплуатации и учебной подготовки персонала АЭС и как они решаются в настоящее время.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- приобретение знаний о конструкции и физических характеристиках оборудования ЯЭУ с ВВЭР, о системах: СУЗ, СВРК, АКНП, - о нейтронно-физических и тепло-гидравлических характеристиках активной зоны ВВЭР, о перечне моделируемых режимов, необходимых для обоснования эксплуатационных характеристик ЯЭУ при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации.
- получение знаний о системе управления и защиты (СУЗ) реактора в современных ЯЭУ, о функциональном назначении основных компонентов СУЗ, по принципам работы основных регуляторов СУЗ;
- получение знаний об основных параметрах безопасности, определяющих состояние защитных физических барьеров (корпуса реактора, оболочки ТВЭЛ и топливной матрицы ТВЭЛ), о пределах нормальной эксплуатации, о физических явлениях, приводящих к ядерно-опасным ситуациям в случае аварии;
- получение знаний о системах контроля параметров ЯЭУ, определяющих безопасность эксплуатации оборудования АЭС, о технологии проведения плановых измерений нейтронно-физических характеристик активной зоны и задачах в правильной интерпретации результатов этих измерений;
- приобретение знаний о динамических характеристиках ЯЭУ как объекта управления, о поведении реактора при разгоне реактора на мгновенных и запаздывающих нейтронах, о характеристиках данных процессов и поведении основных параметров безопасности активной зоны в этих процессах, о зависимости характеристик разгонов от типа топливной загрузки и момента кампании.
- приобретение знаний о влиянии качества моделирования физических процессов в оборудовании АЭС (способы интерполяции нейтронных сечений в модели активной зоны, способы учета резонансного захвата нейтронов в топливе и т.д.) на проверку работы систем управления и комплексное тестирование алгоритмов управления и технологических систем энергоблока;
- получение знаний о системах безопасности на действующих энергоблоках АЭС и на вновь строящихся АЭС, о методологии расчетного обоснования технической безопасности ЯЭУ на стадии проектирования и расчетной обработки динамических испытаний при пуске-наладке новых энергоблоков;
- получение знаний о проектном перечне аварий, о тяжелых авариях на АЭС, о мерах по их недопущению, о методологии проведения противоаварийных тренировок персонала АЭС при моделировании ТА на ПМТ

- приобретение навыков по расчету нейтронно-физических характеристик органов регулирования в составе СУЗ, понимания взаимообусловленности характеристик основных регуляторов управления мощностью с н/ф характеристиками активной зоны;
- приобретение навыков по управлению энергоблоком при его пуске из горячего состояния на мощность, по оптимальному управлению в переходных режимах при частичных нарушениях нормальной эксплуатации.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина входит в состав образовательной для магистрантов по соответствующим направлениям. Данная дисциплина является основой для получения магистрантами знаний о том, какое место занимают задачи управления нейтронно-физическими параметрами ЯЭУ и обеспечения безопасной эксплуатации в жизнедеятельности АЭС, о том какие задачи стоят перед службами инженерной поддержки эксплуатации и учебной подготовки персонала АЭС и как они решаются в настоящее время.

Для изучения данной дисциплины студент должен обладать знаниями:

- по следующим разделам высшей математики: линейная алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения математической физики, операционное исчисление в объеме общеобразовательных программ для технических вузов;
- по общей физике и физике ядерных энергетических установок в объеме общеобразовательных и специализированных программ для технических вузов;
- по вопросам безопасной эксплуатации ЯЭУ в объеме специализированных программ для технических вузов.

## 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|
|--------------------------------|------------------------------------------------------|

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| Задача профессиональной деятельности (ЗПД)                                                | Объект или область знания                                       | Код и наименование профессиональной компетенции;<br>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта) | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| проектный                                                                                 |                                                                 |                                                                                                            |                                                                                               |
| Подготовка элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов | Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая | ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с                    | 3-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при |

|                                                                                                                                 |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| работ                                                                                                                           | АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий                                                                 | использованием современных информационных технологий<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 40.011                                                                                                                          | моделировании физических процессов и установок ;<br>У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок;<br>В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок |
| производственно-технологический                                                                                                 |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Поддержание работоспособности систем, оборудования, средств измерения, контроля, управления, автоматики, вычислительной техники | Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий | ПК-9 [1] - Способен эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок, выполнять технико-экономические расчеты<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 24.028                                   | З-ПК-9[1] - Знать регламент эксплуатации и ремонта современных физических установок ;<br>У-ПК-9[1] - Уметь эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок;<br>В-ПК-9[1] - Владеть навыками эксплуатации, проведения испытаний и ремонта современных физических установок |
| экспертный                                                                                                                      |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований                                | Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий | ПК-11 [1] - Способен к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам | З-ПК-11[1] - Знать законодательные и нормативные акты регулирующие деятельность в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности ;<br>У-ПК-11[1] - Уметь проводить анализ технических и расчетно-                                                                    |

|  |  |                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|--|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.011</p> | <p>теоретических разработок с учетом их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам;<br/>В-ПК-11[1] - владеть методами анализа технических и расчетно-теоретических разработок, и учета их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам</p> |
|--|--|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины | Недели | Лекции/ Практик. (семинары )/ Лабораторные работы, час. | Обязат. текущий контроль (форма*, неделя) | Максимальный балл за раздел** | Аттестация раздела (форма*, неделя) | Индикаторы освоения компетенции                                           |
|-------|-----------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|       | <i>2 Семестр</i>                        |        |                                                         |                                           |                               |                                     |                                                                           |
| 1     | Раздел 1                                | 1-8    | 8/0/8                                                   |                                           | 25                            | КИ-8                                | 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11 |
| 2     | Раздел 2                                | 9-15   | 7/0/7                                                   |                                           | 25                            | КИ-15                               | 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-9,                                           |

|  |                                             |  |         |  |    |    |                                                                                                   |
|--|---------------------------------------------|--|---------|--|----|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                             |  |         |  |    |    | У-ПК-9,<br>В-ПК-9,<br>З-ПК-11,<br>У-ПК-11,<br>В-ПК-11                                             |
|  | <i>Итого за 2 Семестр</i>                   |  | 15/0/15 |  | 50 |    |                                                                                                   |
|  | <b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b> |  |         |  | 50 | 30 | З-ПК-5,<br>У-ПК-5,<br>В-ПК-5,<br>З-ПК-9,<br>У-ПК-9,<br>В-ПК-9,<br>З-ПК-11,<br>У-ПК-11,<br>В-ПК-11 |

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
| ЗО          | Зачет с оценкой     |
| КИ          | Контроль по итогам  |
| З           | Зачет               |

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели     | Темы занятий / Содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Лек., час.             | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|------------|
|            | <i>2 Семестр</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 15                     | 0              | 15         |
| <b>1-8</b> | <b>Раздел 1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 8                      | 0              | 8          |
| 1          | <b>Введение: Предмет курса и его задачи.</b><br>Основные тенденции в развитии атомной энергетики в России и за рубежом, и в частности в АСУ ТП АЭС для энергоблоков нового поколения. Основные технические и конструкционные характеристики ЯЭУ нового поколения, общие характеристики СУЗ современных ЯЭУ и их функциональный состав. Характерные физические явления, присущие современным ядерным энергетическим установкам в переходных и аварийных режимах. | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 0              | 1          |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0              | 0          |
| 2          | <b>Основные нейтронно-физические (н/ф) характеристики активной зоны современных ЯЭУ. Динамические характеристики реактора как объекта управления.</b><br>Понятия само защищённости ЯЭУ как ядерно-опасного объекта и саморегулирования реактора при небольших отклонениях от стационарных условий эксплуатации. Основные параметры, определяющих само защищённость и саморегулирование реактора: коэффициенты                                                   | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 0              | 1          |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0              | 0          |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                        |   |   |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|
|   | реактивности и их обусловленность состоянием активной зоны и составом топливной загрузки.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        |   |   |
| 3 | <b>Основные нейтронно-физические (н/ф) характеристики активной зоны в составе ЯЭУ. Статические характеристики реактора как объекта управления.</b><br>Статические характеристики ядерного реактора представляют собой совокупность различных эффектов реактивности, которые определяют баланс нейтронов в активной зоне. В лекции подробно рассказано об обусловленности величин различных эффектов реактивности состоянием активной зоны и составом топливной загрузки. Даны понятия статической и динамической реактивности, объясняется физическое и математическое различие этих величин.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 0 | 1 |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0 | 0 |
| 4 | <b>Необходимый уровень моделирования физических процессов в оборудовании АЭС для тестирования проектируемых и модернизируемых алгоритмов управления.</b><br>Показан необходимый уровень моделирования физических процессов для адекватного воспроизведения широкого спектра режимов с целью обоснования надежной работы систем управления и систем безопасности ЯЭУ в штатных и нештатных ситуациях при эксплуатации энергоблоков современных АЭС. Рассмотрены примеры влияния качества подготовки нейтронных сечений и их аппроксимации от режимных параметров на точность моделирования физических процессов, необходимую для достоверной верификации работы основных регуляторов в составе СУЗ реактора на стадии их проектирования или модернизации. Рассмотрены различные интерполяционные процедуры, основанные на различных методах и приемах, для аппроксимации нейтронных сечений, используемых в расчетных моделях активной зоны. Определены критерии успешности интерполяции для комплексных моделей ЯЭУ: обеспечение точности прогнозирования временного поведения объекта при внесении различного рода возмущений. | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 0 | 1 |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0 | 0 |
| 5 | <b>Лимитирующие параметры, определяющие пределы безопасной эксплуатации ЯЭУ. Контроль лимитирующих параметров ЯЭУ в стационарных условиях и в переходных режимах.</b><br>Перечислены основные системы контроля ядерно-физических и радиационных параметров: АKNП, СВРК, АСКРО. Дана их краткая характеристика. Рассказано о трудностях в интерпретации результатов измерений ряда параметров, о физических и технологических причинах, предопределяющих эти трудности.. Рассказано о проблемах оперативных измерений нейтронного потока БИК и необходимость коррекции их показаний на мощности. Дана краткая характеристика систем АКЭ,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 0 | 1 |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0 | 0 |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |   |   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|
|   | АКПМ, КОРТ и т.д. Рассказано о трудностях, имеющих место в оперативном температурном контроле по технологическим датчикам 1-го контура ЯЭУ, и о задачах по определению тепловой мощности реактора и повышению точности этого определения. Рассказано об измерениях нейтронного потока датчиками СВРК – КНИ (ДПЗ), и о задачах восстановления нейтронных полей по всему объему зоны системами ХОРТИЦА и КРУИЗ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                        |   |   |
| 6 | <b>Нейтронно-физические характеристики групп и отдельных органов регулирования (ОР) в составе СУЗ.</b><br>Дано понятие интегро-дифференциальной характеристики (ИДХ) групп и отдельных ОР СУЗ. Рассказано об расчетно-экспериментальных методах их определения. Сформулированы задачи интерпретации результатов измерений характеристик ОР СУЗ и рассказано об их обусловленности от места расположения БИК по отношению к измеряемому ОР. Проводится анализ зависимости характеристики ОР СУЗ от распределения нейтронного поля и взаимного расположения различных групп по активной зоне, проводится анализ влияния нестационарного отравления активной зоны ксеноном на эффективность групп ОР СУЗ. Рассматривается задачи расчета эффективности отдельных групп ОР СУЗ на мощности при проведении пуско-наладочных испытаний энергоблока. | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1                      | 0 | 1 |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Онлайн                 |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0                      | 0 | 0 |
| 7 | <b>Структура и функциональное назначение СУЗ реактора, увязка СУЗ с системами УСБ.</b><br>Системы ПЗ, АЗ, РОМ, АРМ, УПЗ, АКНП. Алгоритмы работы данных систем. Технологические защиты и блокировки. СГИУ, алгоритмы её работы. Система борного регулирования. Ознакомление с технологическими причинами, вызывающими их срабатывание различных подсистем СУЗ. Рассказано о путях совершенствования механической системы СУЗ. Рассказано о работе СУЗ реактора при управлении реактором во время пуска, работы на мощности, плановой или аварийной остановки реактора и в переходных режимах.                                                                                                                                                                                                                                                  | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1                      | 0 | 1 |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Онлайн                 |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0                      | 0 | 0 |
| 8 | <b>Основные параметры регуляторов в составе СУЗ, управляющих мощностью реактора.</b><br>В данной лекции речь идет о выборе основных параметров регуляторов, управляющих мощностью ЯЭУ, их взаимообусловленности с нейтронно-физическими характеристиками активной зоны и физическими параметрами реакторной установки в целом. Здесь показывается насколько важно иметь достаточный уровень детализации моделирования физических процессов в ЯЭУ для обоснования надежной и устойчивой работы регуляторов в составе СУЗ и надежного контроля параметров, отвечающих за уровень безопасности ЯЭУ. Главное внимание уделено изучению основных параметров исполнительной части АРМ (скорости                                                                                                                                                     | Всего аудиторных часов |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1                      | 0 | 1 |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Онлайн                 |   |   |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0                      | 0 | 0 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |   |   |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|
|      | перемещения рабочей группы ОР СУЗ, составе рабочей группы и её размещении в активной зоне) в двух основных режимах: режиме поддержания нейтронной мощности реактора (режим -Н-) и режиме поддержания давления во 2-ом контуре ЯЭУ (-Т-).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        |   |   |
| 9-15 | <b>Раздел 2</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 7                      | 0 | 7 |
| 9    | <b>Обусловленность алгоритмов работы СУЗ и параметров их основных регуляторов (АРМ и РОМ) в переходных режимах физическими характеристиками активной зоны ЯЭУ.</b><br>В лекции дан анализ обусловленности алгоритмов работы СУЗ физическими характеристиками активной зоны на примере работы АРМ и РОМ с участием УПЗ для различных проектов современных АЭС при отключении одного и двух ГЦН. Рассмотрен наиболее вероятный (по сравнению с другими) случай нарушения нормальной эксплуатации: отключение одного ГЦН, а затем случай отключения двух ГЦН.<br>При анализе проектного режима отключения одного ГЦН важно знать эффективность регулирующей группы и распределение локальной мощности по объему активной зоны при погружении рабочей группы ОР СУЗ. Значение эффективности принимается в соответствии с данными физических расчетов для пускаемой загрузки в конце кампании и уменьшенной на величину двойной погрешности расчета (величина погрешности берётся из Аттестационного паспорта на программу физического расчета нейтронно-физических характеристик активной зоны). При этом погружение ОР СУЗ может быть таковым, что будут превышены допустимые локальные мощности реальности. Рассмотрен новый алгоритм разгрузки с использованием алгоритма УПЗ. В данном случае встает вопрос выбора нужной группы ОР. В лекции подробно об этом рассказывается. | Всего аудиторных часов |   |   |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                      | 0 | 1 |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |   |   |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                      | 0 | 0 |
| 10   | <b>Определение «веса» аварийной защиты (АЗ) на МКУ. Расчетная интерпретация результатов измерений «веса» АЗ.</b><br>Проведен анализ зависимости веса АЗ от пространственного распределения нейтронных полей и их временного поведения при сбросе ОР СУЗ. Обозначена актуальность расчетно-экспериментального определения истинного веса АЗ при использовании современных схем перегрузок топлива. Рассказано об использовании системы АКПМ при уточнении «веса» АЗ на МКУ. При экспериментальном измерении «веса» АЗ на МКУ возникают те же проблемы, что и проблемы при измерении нейтронной мощности реактора по БИК. Измерения «веса» групп ОР СУЗ и «АЗ» проводятся с помощью регистрации тока в БИК и вычисления логарифмической производной по времени при конечном перемещении группы или всех ОР СУЗ. Данные результаты представляют последовательность временных                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Всего аудиторных часов |   |   |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                      | 0 | 1 |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |   |   |
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                      | 0 | 0 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                        |   |   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|
|    | измерений значений логарифмической производной от токов в БИК для одного перемещения ОР СУЗ. Зная величины доли запаздывающих нейтронов от их предшественников и времена жизни каждого предшественника, можно, зафиксировав временную последовательность логарифмических производных от токов, определить реактивность активной зоны при данном перемещении ОР СУЗ. Однако вычисленная реактивность не определяет истинную реактивность всей активной зоны. В настоящей лекции и происходит разбор причин рассогласования между истинной и измеренной величиной реактивности отдельных групп ОР СУЗ или всей АЗ, которые являются следствием особенностей измерений эффективности ОР СУЗ на АЭС.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |   |   |
| 11 | <b>Явление повторной критичности и понятие температуры повторной критичности.</b><br>Явление повторной критичности представляет образование локальной критичности в активной зоне при зависании одного ОР СУЗ в этой области. Такое возможно при отсутствии борной кислоты в теплоносителе и высвобождении максимального температурного эффекта реактивности при снижении температуры теплоносителя. Это явление может возникнуть в конце кампании реактора при разрыве паропровода в его отсекаемой части между ПГ и ГПК. Наиболее опасным данное явление может оказаться для энергоблоков с числом приводов ОР СУЗ, равным 61. Для энергоблоков по проекту АЭС-2006 данное явление, практически безопасно, так как приводов ОР СУЗ равно 121. В этих случаях даже при зависании двух рядом расположенных ОР СУЗ явление повторной критичности крайне маловероятно. Для характеристики данного явления введено понятие температуры повторной критичности. Дело в том, что явление повторной критичности может возникнуть при зависании одного ОР СУЗ только в случае захолаживания сектора активной зоны, над которым завис ОР. Значение температуры повторной критичности это величина температуры теплоносителя, при которой в конце кампании при зависании одного самого ценного ОР СУЗ, реактивность реактора становится равным нулю или даже больше нуля. | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 0 | 1 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0 | 0 |
| 12 | <b>Управление реактора при нормальной эксплуатации на базовой мощности и в условиях регламентных переходных режимов.</b><br>В настоящей лекции уделено основное внимание освещению вопросов, связанных с работой основных регуляторов по поддержанию мощности ЯЭУ АРМ в составе СУЗ и ЭГСР в составе АСУТ и системе контроля нейтронного потока, поставляющую исходную информацию для регулятора АРМ и других систем управления. Измерительной частью АРМ является БИК в составе комплекса АКНП, который предназначен для контроля нейтронной мощности и периода реактора во                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                      | 0 | 1 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                      | 0 | 0 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                        |   |   |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|
|    | всех режимах работы в диапазоне (1,0□10-7 - 120)% от номинального значения.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |   |   |
| 13 | <b>Управление полем энергоснабжений в объеме активной зоны.</b><br>Лекция посвящена рассмотрению ксеноновых колебаний локальной мощности в объеме активной зоны, причин их возникновения, алгоритмов подавления колебаний. В лекции рассмотрены различные методы определения критерия устойчивости реактора по отношению к ксеноновым колебаниям интегральной и локальной мощности. Предлагается метод на основе спектрального анализа характеристического уравнения, полученного из базовых системы уравнений нейтронной кинетики при упрощении пространственной дискретизации уравнений в частных производных. Рассказано об опасности колебаний локальной мощности в связи с превышением локальных лимитирующих параметров и алгоритмах подавления этих колебаний.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1                      | 0 | 1 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0                      | 0 | 0 |
| 14 | <b>Концепция обеспечения безопасности ЯЭУ и АЭС в целом.</b><br>В лекции изложены критерии и принципы безопасности, нормативные требования, принцип единичного отказа, функции безопасности, методы обеспечения безопасности. Раскрыто понятие ядерной и теплотехнической безопасности активной зоны в составе реакторной установки. Рассказано о системах безопасности современных ядерных установок на действующих и проектируемых АЭС, их функциях и о проектно-технических решениях по повышению безопасности, которые находятся сейчас на стадии внедрения.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1                      | 0 | 1 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0                      | 0 | 0 |
| 15 | <b>Пределы нормальной эксплуатации. Технология формирования лимитирующих параметров, определяющих безопасность защитных барьеров конструкции активной зоны.</b><br>О безопасности эксплуатации можно судить по результатам надёжного контроля параметров, характеризующих нормальные условия работы реакторного оборудования. Однако в случае серьёзного отказа какого-либо элемента оборудования контроль некоторых параметров становится зачастую невозможным или бессмысленным. Поэтому в случаях серьёзных аварий говорить нужно не о пределах нормальной эксплуатации, а о параметрах безопасности, которые являются сигналом о повреждении или даже разрушении барьеров безопасности. Предельные значения этих параметров, как правило, не зависят от внешних условий и определяются свойствами материалов и физикой процессов, происходящих при всевозможных авариях и нарушениях. В настоящей лекции даются определения этих параметров и для большей части из них указываются предельные значения, по которым можно контролировать состояние оборудования ЯЭУ и степень его повреждения. Среди | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1                      | 0 | 1 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0                      | 0 | 0 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                        |   |   |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|
|    | параметров, о которых речь пойдет ниже, есть ненаблюдаемые параметры, которые, однако, являются истинным мерилем уровня безопасности активной зоны и ЯЭУ в целом.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |   |   |
| 15 | <b>Эксплуатационные режимы нормальной эксплуатации ЯЭУ и эксплуатационные режимы с нарушением условий нормальной эксплуатации.</b><br>В лекции дан краткий обзор пусковых режимов ЯЭУ и режима планового останова энергоблока. Подробно рассмотрен регламент пуска энергоблока из горячего состояния после короткой и длительной остановок. Дано понятие «йодной ямы» при останове реактора и даны критерий попадания в такую «яму» и рекомендации выхода из неё. Разобраны режимы с нарушением нормальной эксплуатации и регламент выхода из них.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0                      | 0 | 0 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0                      | 0 | 0 |
| 16 | <b>Проектные аварийные ситуации. Расчетное обоснование безопасности ЯЭУ в рамках ТОВ энергоблока АЭС.</b><br>Основной целью расчетного обоснования безопасности является проверка не превышения основных показателей безопасности активной зоны разрешенных пределов в аварийных ситуациях. Пределы могут быть разного уровня. Превышение пределов первого уровня свидетельствует о нарушениях нормальной эксплуатации (нет заметных повреждений защитных барьеров активной зоны и реактора). Превышение пределов второго уровня свидетельствует об аварийных ситуациях, при которых нарушаются нормальная эксплуатация (есть заметные повреждения защитных барьеров активной зоны и реактора, но нет разрушения конструкции зоны). Превышение пределов третьего второго уровня свидетельствует об аварийных ситуациях, при которых есть заметные повреждения защитных барьеров активной зоны и реактора, которые приводят к разрушению конструкции зоны. Задача технического обоснования безопасности (ТОВ) проверка в проектном перечне аварий (аварии с использованием принципа единичного отказа) не превышения пределов параметров безопасности третьего уровня. В лекции изложена суть принципа консервативности, принятого в расчетном анализе безопасности ЯЭУ, сделан краткий обзор имеющихся расчетных кодов, отмечены их достоинства и недостатки. Рассказано о комплексных полномасштабных математических моделях ЯЭУ и АЭС в целом. | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0                      | 0 | 0 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0                      | 0 | 0 |
| 16 | <b>Запроектные аварии (ЗА) и тяжелые аварии (ТА).</b><br>В данной лекции дается определение ЗА и ТА. Выделены два типа тяжелых аварий на АЭС с ВВЭР, переходящих в необратимую стадию. Один тип аварий связан с авариями, аналогичными МПА, т.е. авариями с разрывами различных трубопроводов в 1-ом контуре, приводящими к большим течениям теплоносителя и очень быстрому первичному обезвоживанию активной зоны до                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Всего аудиторных часов |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0                      | 0 | 0 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Онлайн                 |   |   |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0                      | 0 | 0 |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |  |  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
|  | <p>начала полноценной работы защитных систем, таких как САОЗ (как активных так и пассивных) высокого и низкого давления. Указанные аварии при переходе в запроектную стадию и, возможно, в тяжелую стадию характеризуются, как правило, потерей принудительной циркуляции САОЗ низкого давления. Второй тип аварий аналогичен аварии на АЭС «ThreeMilesIsland», идентификация которой не проста, так как в этом случае трудно быстро определить малую течь из первого контура, и определить обезвреживание активной зоны можно только по косвенным признакам. В этих условиях самое важное знать, сколько времени осталось до начала необратимого разрушения конструкции активной зоны. Это нужно для того, чтобы оценить возможность дополнительных мероприятий в соответствии с РУТА для восстановления принудительной циркуляции теплоносителя через зону до начала разрушения основного защитного барьера топлива. Методам оценки времени до начала разрушения зоны и определения мероприятий для восстановления циркуляции через реактор и посвящена данная лекция. Рассказано о том, как проходят противоаварийные тренировки на ПМТ Российских АЭС.</p> |  |  |  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|

Сокращенные наименования онлайн опций:

| Обозначение | Полное наименование              |
|-------------|----------------------------------|
| ЭК          | Электронный курс                 |
| ПМ          | Полнотекстовый материал          |
| ПЛ          | Полнотекстовые лекции            |
| ВМ          | Видео-материалы                  |
| АМ          | Аудио-материалы                  |
| Прз         | Презентации                      |
| Т           | Тесты                            |
| ЭСМ         | Электронные справочные материалы |
| ИС          | Интерактивный сайт               |

## ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

| Недели | Темы занятий / Содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | <i>2 Семестр</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 2 - 4  | <p><b>Тема лабораторной работы №1.</b></p> <p>Динамические и статические характеристики реактора ВВЭР-1000 как объекта управления. Изучение характеристик нейтронной вспышки на мгновенных нейтронах и масштаба само защищённости реактора ВВЭР и их зависимости . от типа топливной загрузки и момента кампании реактора. Изучение разгона реактора на запаздывающих нейтронах и влияние точности моделирования на параметры данного процесса</p> |
| 5 - 6  | <p><b>Тема лабораторной работы №2.</b></p> <p>Температурный и барометрический коэффициенты реактивности. Изучение их зависимости от обогащения топлива и расстановки топлива в активной зоне, а также от наличия ОР СУЗ в активной зоне. Изучение эксплуатационных мероприятий по обеспечению коэффициентов реактивности нужного знака для выполнения</p>                                                                                          |

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | требований ПБЯ. Требования к точности моделирования и точности библиотеки нейтронных сечений для их использования в расчетных кодах.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 7 - 9   | <b>Тема лабораторной работы №3.</b><br>Нейтронно-физические характеристики групп органов регулирования (ОР) в составе СУЗ. Построение интегро-дифференциальной характеристики групп ОР СУЗ. Изучение их эффективности от взаимного расположения различных групп в зоне и от мощности. Сравнение характеристик групп ОР СУЗ, полученных расчетным путем из полного баланса нейтронов в зоне и в результате моделирования измерений по БИК. Анализ разницы и определение причины данного рассогласования.                                                                                        |
| 10 - 11 | <b>Тема лабораторной работы №4.</b><br>Определение «веса» аварийной защиты и отдельного ОР СУЗ при статическом и динамическом моделировании полного баланса нейтронов в зоне и моделировании проведения измерений по БИК на АЭС. Сопоставление полученных результатов и их анализ в зависимости от расстановки топлива в зоне. Изучение величины «веса» АЗ от времени по балансу нейтронов и по измерениям БИК. Выбор БИК и ОР СУЗ для получения консервативных оценок «веса» отдельного ОР из результатов измерений.                                                                          |
| 12 - 14 | <b>Тема лабораторной работы №5.</b><br>Управление полем энерговыделений в объеме активной зоны. Изучение ксеноновых колебаний локальной мощности в объеме активной зоны и причин их возникновения, расчет параметров ксеноновых колебаний и изучение их зависимости от состояния активной зоны, выбор наиболее оптимального алгоритма подавления колебаний с целью не превышения лимитирующих безопасную эксплуатацию параметров по активной зоне.                                                                                                                                             |
| 15 - 16 | <b>Тема лабораторной работы №6.</b><br>Изучение явления повторной критичности в реакторе ВВЭР, расчет параметров, характеризующих данное явление, причин его возможного возникновения, последствий на состояние оборудования активной зоны и различных способов устранения возможности данного явления в реакторе. Изучение явления повторной критичности в реакторе ВВЭР, расчет параметров, характеризующих данное явление, причин его возможного возникновения, последствий на состояние оборудования активной зоны и различных способов устранения возможности данного явления в реакторе. |

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Чтение лекций с использованием компьютерных технологий.
- Обсуждение контрольных вопросов при проведении аудиторных занятий.
- Проведение лабораторных работ с их защитой магистрантами и зачетом/экзаменом по отдельным блокам.

При реализации программы дисциплины «Управление и безопасная эксплуатация ядерных энергетических установок (Operating Safety and Control on NPP)» используются указанные выше образовательные технологии. Для контроля усвоения студентом очередной лекции данного курса используются контрольные вопросы к каждой лекции. Ответы на вопросы к предыдущей лекции получаются устно в ходе 15 минутной разминки с аудиторией перед началом лекций по следующей лекции. В случае пассивности аудитории во время данной разминки преподаватель возвращается к этим вопросам на следующей лекции. В случае полной пассивности на всех лекциях данные вопросы становятся дополнением к экзаменационным билетам. Во время лабораторных занятий используется для контроля понимания вопросы, подготовленные для каждого занятия в лабораторном практикуме. После завершения

лабораторного занятия и получения результатов данного занятия магистрант получает задание по данной лабораторной работе и сдает его на следующем лабораторном занятии. К зачету/экзамену допускается студент, сдавший все задания по программе лабораторного практикума. По результатам сдачи выполненных лабораторных работ студент получает аттестацию за зачет/экзамен. Получение аттестации по лабораторным работам - допуск к зачету/экзамену. Самостоятельная работа заключается в выполнении задания по результатам лабораторного занятия и подготовке к её сдаче. Для финальной проверки знаний по данной дисциплине служит зачет/экзамен. Оценка проставляется студенту по пятибалльной системе.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

| Компетенция | Индикаторы освоения | Аттестационное мероприятие (КП 1) |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|
| ПК-11       | З-ПК-11             | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |
|             | У-ПК-11             | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |
|             | В-ПК-11             | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |
| ПК-5        | З-ПК-5              | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |
|             | У-ПК-5              | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |
|             | В-ПК-5              | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |
| ПК-9        | З-ПК-9              | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |
|             | У-ПК-9              | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |
|             | В-ПК-9              | ЗО, КИ-8, КИ-15                   |

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

| Сумма баллов | Оценка по 4-х балльной шкале | Отметка о зачете | Оценка ECTS |
|--------------|------------------------------|------------------|-------------|
| 90-100       | 5 – «отлично»                | «зачтено»        | A           |
| 85-89        | 4 – «хорошо»                 |                  | B           |
| 75-84        |                              |                  | C           |
| 70-74        |                              |                  | D           |
| 65-69        | 3 – «удовлетворительно»      |                  | E           |
| 60-64        |                              |                  |             |
| ниже 60      | 2 – «неудовлетворительно»    | «не зачтено»     | F           |

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ Р93 Proceedings of the 5th International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control : , , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
2. 621.039 В92 Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие, Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. ЭИ В92 Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие, Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
4. ЭИ Ф50 Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие для вузов, Выговский С.Б. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. И Е50 Selected Proceedings (to the 85th Anniversary) : Automatic Control Systems with Variable Structure: System Design of Automation Means: Binary Systems: New Feedback Types, Emelyanov S. V., Москва: КРАСАНД, 2014

2. 621.039 Ф50 Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие для вузов, Выговский С.Б. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

#### **1. Указания для прослушивания лекций**

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не надо опасаться, что вопросы могут быть простыми.

При изучении лекционного материала обязательно следует сопоставлять его с материалом семинарских и лабораторных занятий.

Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными литературными источниками и вновь появляющимися источниками.

#### **2. Указания для проведения лабораторных занятий (при его наличии)**

Соблюдать требования техники безопасности, для чего прослушать необходимые разъяснения о правильности поведения в лаборатории.

Перед выполнением лабораторной работы провести самостоятельно подготовку к работе, изучив основные теоретические положения, знание которых необходимо для осмысленного выполнения работы.

В процессе выполнения работы следует постоянно общаться с преподавателем, не допуская по возможности неправильных действий.

Основные результаты экспериментов были зафиксировать в письменном виде.

При сдаче зачета по работе подготовить отчет о проделанной работе, где должны быть отражены основные результаты и выводы.

#### **3. Указания для проведения семинарских занятий (при его наличии)**

Перед семинаром внимательно изучить лекционный материал, относящийся к теме занятия.

Активно взаимодействовать с преподавателем, задавать уточняющие вопросы по материалам лекций и семинарских занятий.

Уточнять и корректировать процесс выполнения лабораторных работ.

#### **4. Указания по выполнению самостоятельной работы**

Получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы.

Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

Подготовить письменный отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

### **1. Указания для проведения лекций**

На первой вводной лекции сделать общий обзор содержания курса. Дать перечень рекомендованной литературы и вновь появившихся литературных источников.

Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов.

Внимательно относиться к вопросам студентов и при необходимости давать дополнительные более подробные пояснения.

При чтении лекций преимущественное внимание следует уделять качественным вопросам, не следует увлекаться простыми математическими выкладками, оставляя их либо на студентов, либо отсылая студентов к литературным источникам и методическим пособиям.

В процессе лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям (здесь возможен выборочный контроль знаний студентов).

В середине семестра (ориентировочно после 8-й лекции) обязательно провести контроль знаний студентов по материалам всех прочитанных лекций.

Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

Давать рекомендации студентам для подготовки к очередным семинарам и лабораторным занятиям.

На последней лекции уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе.

### **2. Указания для проведения семинарских занятий (при их наличии)**

Четко обозначить тему семинара.

Обсудить основные понятия, связанные с темой семинара.

В процессе решения задач вести дискуссию со студентами о правильности применения теоретических знаний.

Отмечать студентов, наиболее активно участвующих в решении задач и дискуссиях.

В конце семинара задать аудитории несколько контрольных вопросов.

### **3. Указания для проведения лабораторных занятий (при их наличии)**

Соблюдать требования техники безопасности и проводить необходимые разъяснения о правильности поведения в лаборатории.

Перед выполнением лабораторной работы проверить степень готовности студентов, напомнить и обсудить основные теоретические положения, знание которых необходимо для осмысленного выполнения работ.

В процессе выполнения работы следует постоянно общаться со студентами, не допуская по возможности их неправильных действий.

Требовать, чтобы основные результаты экспериментов были зафиксированы студентами в письменном виде.

При приеме зачета по работе требовать отчет о проделанной работе, где должны быть отражены основные результаты и выводы.

#### 4. Указания по контролю самостоятельной работы студентов

По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть индивидуальным или фронтальным.

При использовании индивидуальных заданий требовать от студента письменный отчет о проделанной работе.

При применении фронтальных заданий вести коллективные обсуждения со студентами основных теоретических положений.

С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы требовать индивидуальные отчеты (допустимо вместо письменного отчета применять индивидуальные контрольные вопросы).

Автор(ы):

Чернов Евгений Владимирович