

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

 Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 14.06.01. Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии

Направленность (специальность) 05.14.03. Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

специальной дисциплины

«Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ОД.2

Всего: 252 часа

Семестр 5, 144 часа, в том числе 6 часов – контактная работа,
138 часа – самостоятельная работа,

Семестр 6, 108 часов, в том числе 6 часов – контактная работа,
66 часов – самостоятельная работа,
36 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 14.06.01 Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 879, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации», утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение ядерных энергетических установок, включая принципы их проектирования, эксплуатации и вывода из эксплуатации.

Задачами дисциплины являются:

- изучение теоретических и математических моделей, описывающих процессы в ядерных энергетических установках;
- изучение новых методов расчета современных ядерных энергетических установок;
- изучение фундаментальных законов в области ядерных реакторов;
- изучение перспектив развития ядерной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах;
- изучение принципов выполнения экспериментальных или теоретических исследований для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования;
- изучение принципов расчета, концептуальных и проектных проработок современных ядерных энергетических установок;

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- Способность к созданию теоретических и математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах (ПК-1);
- Готовность к созданию новых методов расчета современных ядерных энергетических установок (ПК -2);
- Способность использовать фундаментальные законы в области ядерных реакторов (ПК – 3);
- Способность оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах (ПК -4);
- Способность самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с

использованием современной техники и методов расчета и исследования (ПК - 5);

- Способность провести расчет, концептуальную и проектную проработку современных ядерных энергетических установок (ПК -6);

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- принципы создания теоретических и математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах (ПК-1);

- методы расчета современных ядерных энергетических установок (ПК -2);

- фундаментальные законы в области ядерных реакторов (ПК – 3);

- перспективы развития ядерной отрасли, современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах (ПК -4);

- основные принципы выполнения экспериментальных или теоретических исследований для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования (ПК - 5);

- принципы проведения расчетов, концептуальных и проектных проработок современных ядерных энергетических установок (ПК -6);

уметь:

- создавать теоретические и математические модели, описывающие процессы в ядерных реакторах (ПК-1);

- рассчитывать современные ядерные энергетические установки (ПК -2);

- применять фундаментальные законы в области ядерных реакторов (ПК – 3);

- анализировать перспективы развития ядерной отрасли, современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах (ПК - 4);

- применять основные принципы выполнения экспериментальных или теоретических исследований для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования (ПК - 5);

- применять принципы проведения расчетов, концептуальных и проектных проработок современных ядерных энергетических установок (ПК -6);

владеть:

- принципами создания теоретических и математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах (ПК-1);

- методами расчета современных ядерных энергетических установок (ПК - 2);

- фундаментальными законами в области ядерных реакторов (ПК – 3);

- перспективами развития ядерной отрасли, современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах (ПК -4);
- основными принципами выполнения экспериментальных или теоретических исследований для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования (ПК -5);
- принципами проведения расчетов, концептуальных и проектных проработок современных ядерных энергетических установок (ПК -6);

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Введение

Настоящая программа составлена на основе дисциплин направлений «Ядерная физика и технологии», «Энергомашиностроение», связанных с особенностями анализа нейтронно-ядерных процессов и теплофизики реакторов, синтезом ядерных энергетических установок и основами их безопасной эксплуатации.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по энергетике, электрификации и энергетическому машиностроению при участии МГТУ им. Н.Э. Баумана и НИУ «МЭИ».

2. Общие вопросы применения ядерной энергии

Ядерная энергетика в энергетическом балансе. Требования к энергетическим технологиям. Перспективы развития ядерной энергетики.

Топливный цикл ядерной энергетики. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла. Экологическая и радиационная безопасность.

Проблема нераспространения ядерных материалов. МАГАТЭ и системы международных гарантий. Технические проблемы нераспространения ядерных материалов.

Экономические аспекты использования ядерной энергии. Составляющие издержек производства электроэнергии на АЭС. Снятие АЭС с эксплуатации. Экономические последствия тяжелых аварий. Социальные аспекты развития ядерной энергетики.

3. Основы проектирования и конструирования ядерных энергетических установок

Основы ядерной и нейтронной физики. Состав и характеристики ядер. Закон и характеристики радиоактивного распада. Ядерные реакции и их особенности.

Нейтронный цикл в ядерном реакторе. Эффективный коэффициент размножения нейтронов. Условия критичности. Закономерности формирования пространственно-энергетического распределения нейтронов и удельного выделения энергии.

Кинетика реактора. Роль запаздывающих нейтронов. Критическое и подкритическое состояние реактора. Динамические характеристики, обратные связи, устойчивость и способы регулирования реактора.

Источники и методы регистрации нейтронов, экспериментальные методы измерения сечений нейтронных реакций, размножающих свойств среды и нуклидного состава топлива.

Эффекты реактивности. Выгорание и воспроизводство ядерного топлива. Топливные циклы. Перегрузки топлива. Ядерная безопасность.

Источники ионизирующих излучений в ядерных энергетических установках. Система теплоносителя как источник излучений. Закономерности ослабления ионизирующих излучений в веществе. Радиационное повреждение реакторных материалов. Действие ионизирующего излучения на теплоноситель (вода). Действие ионизирующего излучения на оксидные пленки конструкционных сплавов. Действие ионизирующего излучения на конструкционные сплавы – углеродистые стали; аустенитные хромоникелевые стали; сплавы на основе циркония, алюминия.

Тепловые и гидравлические процессы в ядерных энергетических установках. Особенности контура отвода тепла. Теплогидравлический расчет активных зон, охлаждаемых однофазным, двухфазным водным, жидкометаллическим, газовым теплоносителем. Кризис теплообмена. Запасы до кризиса. Максимальные температуры оболочки и топлива. Нестационарные процессы в переходных и аварийных режимах. Термогидравлика основных проектных аварий. Двухфазные среды в ядерных энергетических установках. Параметры, характеризующие поток пароводяной смеси. Режимы течения пароводяной смеси в парогенерирующих трубах. Двухфазные среды пузырьковой структуры. Основные соотношения в потоках двухфазных сред. Расходные и истинные параметры, характеризующие поток пароводяной смеси в трубах. Гидравлические сопротивления при вынужденном движении негомогенной пароводяной смеси в трубах. Определение относительного коэффициента гидравлического сопротивления пароводяной смеси. Влияние массового паросодержания на потери давления на трение при движении пароводяной смеси.

Задача исследования и задача оптимизации технологической схемы АЭС. Функциональные свойства АЭС и критерии оптимизации. Определение и состав тепловой схемы. Тепловые схемы принципиальные и полные. Виды и цели расчетов тепловых схем. Исследование АЭС на основе системного подхода. Иерархия задач исследования АЭС. Задача оптимизации АЭС и основные этапы ее решения.

Математические модели тепловых схем: определение и классификация. Принципы разработки на основе системного подхода и состав математических моделей тепловых схем. Математическая модель с фиксированной структурой тепловой схемы. Линейная математическая модель. Процедура теории графов для решения уравнений нелинейной математической модели.

Задача исследования и задача оптимизации технологической схемы АЭС. Функциональные свойства АЭС и критерии оптимизации. Определение и

состав тепловой схемы. Тепловые схемы принципиальные и полные. Виды и цели расчетов тепловых схем. Исследование АЭС на основе системного подхода. Иерархия задач исследования АЭС. Задача оптимизации АЭС и основные этапы ее решения.

Математические модели тепловых схем: определение и классификация. Принципы разработки на основе системного подхода и состав математических моделей тепловых схем. Математическая модель с фиксированной структурой тепловой схемы. Линейная математическая модель. Процедура теории графов для решения уравнений нелинейной математической модели.

Циклы паротурбинных и газотурбинных установок. Энергетический баланс и КПД ядерных энергетических установок.

Прочность оборудования и трубопроводов ядерных энергетических установок. Статическая прочность. Устойчивость. Циклическая прочность. Хрупкая прочность. Вибропрочность. Расчет на прочность при сейсмических воздействиях. Испытания натурального оборудования и модельных образцов.

Контроль, управление и защита ядерных энергетических установок. Системы контроля нейтронно-физических и теплотехнических параметров. Безопасность и проблема управления. Защиты по уровню мощности и разгону. Управляющие системы нормальной эксплуатации и безопасности. Взаимодействие «человек - машина».

Основные принципы и критерии обеспечения безопасности. Нормативно-регулирующие документы. Принципы защиты в глубину. Уровни глубоко эшелонированной защиты: Фундаментальные функции безопасности. Принцип единичного отказа. Критерии и условия обеспечения безопасной эксплуатации.

Нормативные документы и рекомендации, определяющие применение теплогидравлических кодов для компьютерного моделирования аварийных ситуаций на энергоблоке АЭС. Тенденции развития теплогидравлических кодов улучшенной оценки для компьютерного моделирования аварийных ситуаций на АЭС. Применение расчетных кодов улучшенной оценки для компьютерного моделирования теплогидравлическими кодами аварийных ситуаций на энергоблоке АЭС.

Физические принципы реакторов с естественной безопасностью.

Анализ аварий. Проектные и запроектные аварии. Анализ надежности систем безопасности. Модели систем безопасности. Управление аварией. Вероятностный анализ. Сценарии аварий на АЭС с реакторами ВВЭР, БН, РБМК.

Программные комплексы для нейтронно-физических расчетов, проектных и эксплуатационных расчетов динамики и безопасности, радиационной защиты, для расчетного обоснования прочности, моделирования тяжелых аварий и их последствий.

4. Ядерные энергетические установки

Атомные станции. Типы атомных станций. Основные компоненты и системы энергоблоков АЭС. Судовые и космические ядерные энергетические

установки. Передвижные и блочно-транспортные ядерные энергетические установки. Радионуклидные генераторы. Термоядерные реакторы. Гибридные системы синтеза - деления. Классификация ядерных реакторов.

Теплоносители ядерных реакторов. Требования, особенности применения. Водно-химические режимы первого (второго) контура. Технологии жидкометаллических, органических, газовых теплоносителей.

Материалы в реакторостроении. Условия работы и критерии выбора. Теплоустойчивые стали, коррозионно-стойкие стали, циркониевые сплавы, нержавеющие стали, никелевые сплавы, сплавы на основе титана, высокотемпературные сплавы, графит, керамические материалы. Материалы органов управления реактивностью. Материалы замедлителей и отражателей. Материалы защиты.

Классификация процессов коррозии (применительно к узлам ПГ по условиям протекания и по характеру наблюдаемых повреждений конструкционных сплавов). Коррозия: химическая, электрохимическая, общая, локальная. Дентин-, фреттинг-коррозия, щелевая, ножевая, под напряжением. Водородное охрупчивание. Коррозионная усталость. Коррозионное растрескивание – транс- и интеркристаллитное. Эрозионно-коррозионный износ. Способы выражения скорости коррозии. Растворы, растворение, электролиты, растворы электролитов, концентрации веществ в растворе. Химическая активность растворенных веществ. Законы Генри, Рауля.

Ядерное топливо. Конструкционные материалы твэлов и ТВС. Основные требования, характеристики.

Тепловыделяющие элементы и ТВС ядерных реакторов. Основные требования. Типы конструктивных решений. Физико-химические процессы, протекающие в твэлах и ТВС в условиях эксплуатации.

Органы регулирования ядерных реакторов. Назначение, состав, конструкции и функциональное использование. Особенности органов регулирования реакторов различных типов. Использование жидких, газообразных и сыпучих поглотителей.

Корпусные легководные реакторы с водой под давлением и кипящие. Развитие реакторов. Реакторы ВВЭР-1000, АСТ-500, АТЭЦ, PWR. Реакторы ВК, BWR. Конструкции. Компоновка оборудования. Системы нормальной эксплуатации. Системы безопасности.

Реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Развитие реакторов. Реакторы БН-600, БН-800. Корпус реактора и внутрикорпусные устройства. Активная зона и зона воспроизводства. Технические средства обеспечения безопасности. Компоновка оборудования.

Канальные водографитовые и тяжеловодные реакторы. Развитие канальных реакторов. Первая в мире, Сибирская, Белоярская АЭС, Билибинская АТЭЦ. Реакторы РБМК-1000, РБМК-1500. Металлоконструкций. Активная зона. Контур многократной принудительной циркуляции. Системы нормальной эксплуатации и системы безопасности. Канальные тяжеловодные реакторы.

Реакторы, охлаждаемые газом. Развитие реакторов. Реакторы с гелиевым теплоносителем. Активные зоны из шаровых, стержневых ТВЭЛов и призматических блоков.

Ядерные реакторы нового поколения - с водой под давлением, бассейновые, каналные, с жидкометаллическим теплоносителем (натрием, свинцом-висмутом, свинцом), модульные, охлаждаемые газом с использованием газовой турбины, с циркулирующим топливом, с расплавно-солевым теплоносителем.

Исследовательские реакторы. Физические и конструктивные особенности. Экспериментальные устройства исследовательских реакторов. Стационарные и учебно-исследовательские реакторы.

Теплообменное и сепарационное оборудование реакторных установок. Парогенераторы для АЭС с ВВЭР и PWR, теплообменные аппараты АЭС с БН, ВТГР, сепараторы пара. Основные характеристики.

Насосы ядерных энергетических установок. Главные циркуляционные насосы. Питательные насосы. Конструкция опор, уплотнений вала. Основные характеристики.

Системы перегрузки топлива. Способы перегрузки. Хранилища отработавшего ядерного топлива. Транспортно-технологическое оборудование. Перегрузочные устройства.

Трубопроводы, опоры и опорные конструкции оборудования и трубопроводов. Гидроамортизаторы.

Трубопроводная и регулирующая арматура.

5. Сооружение, монтаж и эксплуатация ядерных энергетических установок

Особенности проектирования и сооружения ядерных энергетических установок. Выбор площадок. Компоновка зданий и сооружений.

Выполнение строительно-монтажных работ. Поставка оборудования. Особенности организации монтажа. Управление качеством. Монтаж реакторов ВВЭР, БН, РБМК. Основные технологические процессы.

Организация и контроль эксплуатации. Установление и корректировка пределов и условий безопасной эксплуатации. Регламентация эксплуатации. Техническое обслуживание и ремонт. Регламентация действий при авариях и в аварийных ситуациях. Показатели работы АЭС. Система ведомственного контроля за эксплуатацией. Федеральный надзор за безопасностью.

Методы эксплуатационной и оперативной диагностики за состоянием металла и оборудования, трубопроводов АЭС. Периодичность эксплуатационного контроля. Системы оперативной диагностики.

Тренажеры для персонала АЭС. Технологические основы их разработки. Полномасштабные и аналитические тренажеры.

Деактивация технологического оборудования, зданий и сооружений. Основные методы и организация деактивации.

Обращение с радиоактивными отходами на АЭС. Переработка радиоактивных вод. Отверждение жидких радиоактивных отходов. Переработка твердых радиоактивных отходов. Обращение с газообразными радиоактивными отходами. Системы газоочистки при запроектных авариях.

6. Управление сроком службы ядерных энергетических установок

Жизненный цикл ядерной энергетической установки и принципы управления сроком службы. Продление срока службы. Вывод из эксплуатации.

Обеспечение и повышение безопасности при продлении эксплуатации. Повреждающие факторы. Технологическая последовательность операций.

Радиоактивные материалы при снятии с эксплуатации ядерных энергетических установок. Транспортировка и хранение топлива. Удаление радиоактивных отходов высокой и средней активности. Дезактивация оборудования. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами.

Особенности снятия с эксплуатации судовых ядерных энергетических установок.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

6 семестр – экзамен.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

1. Какие основные этапы прошла в своем развитии ядерная энергетика?
2. Какое наиболее существенное воздействие на окружающую среду оказывает атомная электростанция?
3. Что такое внешний топливный цикл атомной электростанции?
4. Дайте определение тепловой схемы электростанции.
5. Что такое основной технологический процесс на атомной электростанции?
6. Назовите основные особенности водо-водяного энергетического реактора.
7. Назовите основные особенности водо-водяных корпусных кипящих реакторов.
8. Сформулируйте основные особенности газоохлаждаемых реакторов
9. Назовите основные особенности быстрого реактора, охлаждаемого жидким натрием.
10. В чем заключается принцип естественной безопасности реакторной установки?

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Алексеев П.Н., Асмолов В.Г., Гагаринский А.Ю., Кухаркин Н.Е., Семченков Ю.М., Сидоренко В.А., Субботин С.А., Цибульский В.Ф.,

Штромбах Я.И. О стратегии развития ядерной энергетики России до 2050 г. М.: Атомная Энергия, 2011, Т.111, №4.

2. Асмолов В.Г., Зродников А.В., Солонин М.И. Инновационное развитие ядерной энергетики России М.: Атомная Энергия, 2007, Т.103, №3.

3. Зорин В.М. Атомные электростанции. Вводный курс. М.: Издательство МЭИ, 2006.

4. Зорин В.М. Атомные электростанции. Основной технологический процесс. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

5. Б.Г.Гордон, Н.А.Пискунова О рекомендациях по повышению самозащищенности ядерных реакторов // Атомная энергия, т.110, вып.2, февраль 2011, с. 117-119.

Дополнительная литература:

1. В.Г.Асмолов, В.Н.Блинков, О.Г.Черников Основы обеспечения безопасности АЭС. Учебное пособие. Москва, Издательский дом МЭИ, 2014, 151 с.

2. Б.Г.Гордон Эволюция безопасности АЭС // Электрические станции, №12, 2011, с.6-11

3. В.Г.Асмолов, В.Н.Блинков, В.И.Мелихов, О.И.Мелихов, Ю.В.Парфенов, Д.А.Емельянов, А.Е.Киселев, К.С.Долганов «Современное состояния и тенденции развития системных теплогидравлических кодов за рубежом»// Теплофизика высоких температур, 2014, том 52, № 1, с. 1–13

4. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Часть 1. Уральский федеральный университет, Екатеринбург, 2013, с.546

5. Афремов Д.А., Журавлева Ю.В., Миронов Ю.В., Назаров В.С., Радкевич В.Е., Яшников Д.А. Анализ неопределенности расчетов аварий с потерей теплоносителя для 1-го энергоблока Курской АЭС, //Атомная Энергия. -2005. - Т.98.- Вып.6. - стр. 422-428.