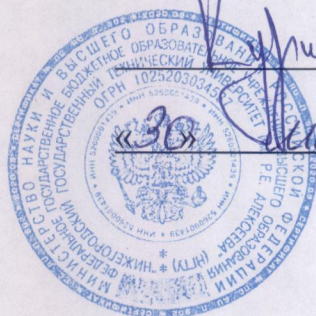


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»  
(НГТУ)

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе



А.А. Куркин

30 мая 2022 г.

**ПРОГРАММА**

вступительных испытаний по специальной дисциплине  
для поступающих в аспирантуру

**Научная специальность: 2.4.9. «Ядерные энергетические установки,  
топливный цикл, радиационная безопасность»**

**Нижний Новгород, 2022**

**Программа вступительного испытания по специальной дисциплине разработана в соответствии с паспортом научной специальности 2.4.9. «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».**

**Вопросы к вступительному испытанию в аспирантуру по специальности 2.4.9. «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность»**

### Общие вопросы

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.

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

Конвективный теплообмен. Перенос энергии и количества движения. Система уравнений движения вязкой жидкости, неразрывности и энергии, описывающая явления конвективного теплообмена. Комплекс краевых, физических и геометрических условий в системе уравнений конвективного теплообмена.

Основные сведения из теории подобия и размерности. Подобие явлений теплопередачи. Необходимые условия подобия. Теорема подобия. Основной принцип теории размерности. Вывод критериев подобия и их физический смысл.

Критериальные формулы для расчета теплоотдачи. Гидродинамика двухфазных потоков. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости (газа) в трубах и каналах. Теплоотдача при свободной конвекции в неограниченном и ограниченном пространстве. Вопросы интенсификации теплоотдачи. Особенности теплоотдачи к жидким металлам.

Теплообмен при кипении жидкости. Механизм парообразования при пузырьковом кипении. Теплоотдача при пленочном кипении. Режимы течения и структура двухфазного потока при кипении в трубах. Теплоотдача при кипении жидкости в трубах. Интенсификация теплообмена в двухфазных потоках.

Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при пленочной конденсации пара. Тепло- и массообмен при конденсации пара из парогазовой смеси.

Использование программных кодов для анализа теплофизических процессов, работы оборудования и состояния материалов.

### 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.

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.

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.

Циклы паротурбинных и газотурбинных установок. Энергетический баланс и к.п.д. ядерных энергетических установок.

Прочность оборудования и трубопроводов ядерных энергетических установок. Статическая прочность. Устойчивость. Циклическая прочность. Хрупкая прочность. Вибропрочность. Испытания натурного 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». Пассивные системы безопасности. Внутренняя, присущая активной зоне безопасность, основанная на законах природы.

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. 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, расчетного обоснования прочности, моделирования тяжелых аварий и их последствий.

#### Вопросы по ядерным энергетическим установкам

Атомные станции. Типы атомных станций. Основные компоненты и системы энергоблоков АЭС. Судовые и космические ядерные энергетические установки. Передвижные и блочно-транспортные ядерные энергетические установки. 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.

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

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. Реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Канальные водографитовые и тяжеловодные реакторы. Реакторы, охлаждаемые газом.

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.

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.

Физические основы реакторов деления. Реакция деления ядер. Период разгона реактора. Подкритическое, критическое и надкритическое состояния реактора. Активная зона, отражатель, ядерное горючее. Эффекты и коэффициенты реактивности. Температурный, мощностной, паровой эффекты реактивности. Способы и органы регулирования реактивности.

Принципы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок. Пуск реактора, работа на мощности, остановка. Автоматическое регулирование мощности. Аварийная защита реактора. Саморегулирование реактора. Внутренне присущая, или естественная безопасность реактора. Барьеры распространения активности. Защита от излучений реактора. Нормы выброса активности, пределы облучения персонала и населения.

Расчетные компьютерные программы, верификация компьютерных программ. Компьютеризация расчетных и экспериментальных работ. Компьютеризация конструкторских работ, трехмерное проектирование. Программы обеспечения безопасности. Вероятностный анализ безопасности.

Системы контроля, управления и диагностики ядерных установок. Автоматическая система управления теплотехническими процессами (АСУ ТП). Создание и обоснование систем безопасности ядерных установок.

#### Вопросы по оборудованию АЭС

Системы перегрузки топлива на АЭС с реакторами различных типов. Типы и принципы действия перегрузочных машин. Оборудование для хранения и транспортировки ядерного топлива на АЭС. Контейнеры для перевозки облученного ядерного топлива (ОЯТ).

Системы, машины и механизмы для дефектоскопии и контроля металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов АЭС в процессе эксплуатации. Основные положения по сварке и наплавке. Термическая обработка выполненных сварных соединений. Основные конструкционные формы сварных соединений. Контроль металла и сварных соединений.

Развитие и эксплуатация реакторов двухконтурных АЭС. Эксплуатация реакторов одноконтурных АЭС с кипящими реакторами. Особенности развития паровых турбин современных АЭС. Типы и пути совершенствования главных циркуляционных и питательных насосов. Причины укрупнения единичных мощностей основных агрегатов АЭС.

Парогенераторы АЭС и их основные отличия от аналогичного оборудования тепловых электростанций. Парогенераторы двух- и трехконтурных АЭС с водяным и натриевым теплоносителем. Их конструкция, используемые материалы, особенности. Тепловой и гидравлический расчет парогенератора. Сепарационные устройства ПГ. Накопление и удаление различных примесей по тракту парогенератора. Вопросы эксплуатационной надежности.

Насосы АЭС. Основы проектирования центробежных, осевых и вихревых насосов. Герметичные электронасосы. Насосы с уплотнениями вала. Основы уплотнительной техники. Главные циркуляционные и питательные насосы. Естественная циркуляция теплоносителя.

Сепараторы-пароперегреватели АЭС (СПП), их конструкции, используемые материалы, требования к аппаратам в одно- и двухконтурных АЭС. Схема включения аппаратов и требования к их компоновке. Сепарационные устройства СПП. Перегревательные элементы СПП. Тепловой и гидравлический расчет СПП.

Особенности гидродинамики в фасонных элементах трубопроводов (тройники, гибы) и проточных частях энергетической арматуры (вентили, задвижки, регулирующие, обратные, предохранительные клапаны; редуционно-охладительные установки - РОУ, пароохладители). Расходные и конструктивные характеристики энергетической арматуры. Расчет и выбор энергетической арматуры.

Водоподготовка первого и второго контуров АЭС. Нормирование качества питательной воды. Оборудование водоподготовки. Механические и ионно-обменные фильтры;

электромагнитные и электродиолизные установки; аппараты обратного осмоса, дисцилинационные установки. Методика расчетов водоподготовительных аппаратов и технико-экономический анализ выбора водоподготовительного оборудования. Интенсификация работы аппаратов водоподготовки для снижения металлоемкости, расхода реагентов, исключения стоков в окружающую среду.

Поддержание водного режима АЭС. Нормирование качества пара и конденсата. Оборудование для поддержания водно-химического режима: низко- и высокотемпературные фильтры, магнитные фильтры и генераторы. Оборудование для дозировки корректирующих добавок. Интенсификация работы и совершенствование конструкции аппаратов поддержания водного режима АЭС.

#### 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.

#### Вопросы по технологии материалов

Конструкционные материалы АЭС с водо-водяными реакторами. Материалы корпусов реакторов (экспериментальных и АЭС). Влияние облучения, термоциклирования и старения на сопротивление хрупкому разрушению. Критическая температура перехода в хрупкое состояние. Материалы активной зоны: корзины, шахты, тепловыделяющих сборок (ТВС) и тепловыделяющих элементов. Материалы для дистанционирующих решеток ТВС.

Материалы стержней и механизмов защиты реактора. Стали для корпусов парогенераторов и сосудов давления. Стали для трубопроводов и паропроводов. Стали и сплавы для трубчатых систем парогенераторов и теплообменных аппаратов. Стали для крепежных деталей и пружин. Коррозия, общая и межкристаллитная коррозия под напряжением, эрозия и фреттинг-износ в среде первого и второго контуров. Термическая усталость. Наводораживание.

Конструкционные материалы АЭС с уран-графитовыми реакторами. Особенности работы материалов в одноконтурной схеме. Материалы контура многократной принудительной циркуляции и трубопроводов. Материалы циркуляционных насосов и арматуры. Использование циркониевых сплавов в контуре, сталей, сплавов и графита в кладке реактора. Распухание, усадка, растрескивание графита.

Конструкционные материалы в АЭС с быстрыми реакторами. Специфика воздействия жидкометаллического теплоносителя (натрия, свинца и др.) на структуру и свойства металлов: массоперенос, обезуглероживание, самосвариваемость и др. Ползучесть, длительная статическая и циклическая прочность. Технология теплоносителей.

Конструкционные материалы АЭС с газовым теплоносителем.

Влияние облучения на материалы. Для всех пунктов раздела рассмотреть влияние реакторных излучений на размерные изменения, распухание, ползучесть, охрупчивание и старение материалов. Влияние на свойства и поведение материалов термического и радиационного циклирования.

#### Специальные вопросы

Основная нормативно-техническая документация, регламентирующая конструкторскую разработку оборудования АЭС. Этапы конструкторской разработки оборудования и уровень экспериментального обоснования принятых решений на каждом из этапов. Аттестация качества оборудования АЭС.

Основная нормативная документация, определяющая требования к оборудованию, работающему в составе блока АЭС, обеспечивающему радиационную и ядерную безопасность.

Радиационная безопасность и вопросы охраны окружающей среды. Основные пути обеспечения радиационной безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации. Защитные барьеры в системе реактора и АЭС, ограничивающие распространение и выброс в окружающую среду радиоактивных веществ. Принципы нормирования уровней облучения персонала АЭС и населения. Деактивация технологического оборудования. Развитие и сопоставление противоаварийных средств защиты современных АЭС с целью улучшения их безопасности.

Работоспособность, надежность и качество оборудования АЭС. Показатели надежности. Выбор номенклатуры показателей надежности для оборудования АЭС. Параметрическая надежность. Законы распределения параметров надежности. Выбор закона распределения. Обеспечение качества и надежности оборудования АЭС.

Взаимосвязь тепловой и общей экономичности для АЭС. Удельные капитальные вложения и себестоимость производства электроэнергии. Метод приведенных затрат при технико-экономических оценках эффективности капитальных вложений. Глубина выгорания топлива, технические пределы и экономически обоснованный выбор. Стоимость мероприятий по повышению безопасности АЭС. Общие вопросы экономики ядерной энергетики.

### Рекомендуемая литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. «Теплопередача», М., Энергия, 1975, 425 с.
2. Маргулова Т.Х. «Атомные электрические станции». Учебник для вузов. М., Изд. «Атомная техника», 1994.
3. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. «Теплообмен в ядерных энергетических установках», М., Атомиздат, 1974, 520 с.
4. Рассохин Н.Г. «Парогенераторные установки атомных электростанций», М., Атомиздат, 1980, 359 с.
5. Котов Ю.В., Кротов В.В., Филиппов Г.А. «Оборудование атомных электростанций», М., Машиностроение, 1982, 375 с.
6. Ганчев Б.Г., Калишевский Л.Л., Демешев Р.С. и др. «Ядерные энергетические установки»: –2-е изд. М., Энергоатомиздат, 1983, 504 с.
7. Ганев И.Х. «Физика и расчет реактора»: 2-е изд., перераб. и доп., М., Энергоатомиздат, 1992, 496 с.
8. Емельянов И.Я., Михан В.И., Солонин В.И. и др. «Конструирование ядерных реакторов»: М., Энергоиздат, 1982.
9. Егоров Ю.А. «Основы радиационной безопасности атомных электростанций»: М., Энергоиздат, 1982.
10. Емельянов И.Я., Ефанов А.И., Константинов Л.В. «Научно-технические основы управления ядерными реакторами»: М., Энергоатомиздат, 1981.
11. Корсаков В.С., Выговский В.Ф., Михан В.И. «Технология реакторостроения», М., Атомиздат, 1977, 268 с.
12. Митенков М.Ф., Новинский Э.Г., Будов В.М. «Главные циркуляционные насосы АЭС», М., Энергоатомиздат, 1984, 320 с.
13. Дорошук В.Е. «Ядерные реакторы на электростанциях», М., Атомиздат, 1977, 208 с.
14. Скоров Д.М., Бычков Ю.Ф., Дашковский А.И. «Реакторное материаловедение», М., Атомиздат, 1977, 344 с.
15. Никольс Р. «Конструирование и технология изготовления сосудов давления», М., Машиностроение, 1975, 464 с.
16. Доллежалъ Н.А., Емельянов И.Я. «Канальный ядерный энергетический реактор», М., Атомиздат, 1980, 208 с.
17. Емельянов И.Я., Воскобойников В.В., Масленок Е.А. «Основы проектирования механизмов управления ядерных реакторов», М., Атомиздат, 1978, 272 с.
18. Гуревич Д.Ф. и др. «Арматура атомных электростанций», М., Энергоиздат, 1982, 310 с.
19. Герасимов В.В. «Коррозия реакторных материалов», М., Атомиздат, 1980, 256 с.
20. Самойлов О.Б., Усынин Г.Б., Бахметьев А.М. «Безопасность ядерных энергетических установок». Учебное пособие для вузов. М., Энергоатомиздат, 1989.

21. Титов В.Ф., Рассохин Н.Г., Федоров В.Г. «Парогенераторы атомных электростанций». М., Энергоатомиздат, 1992.
22. Новиков В.М., Смирнов И.С., Алексеев П.Н. «Ядерные реакторы повышенной безопасности (анализ концептуальных разработок)». М., Энергоатомиздат, 1993.
23. Бескоровайный Н.М., Калинин Б.А., Платов П.А., Чернов И.И. «Конструкционные материалы ядерных реакторов». М., Энергоатомиздат, 1995.
24. Самойлов А.Г., Волков В.С., Солонин М.И. «Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов». М., Энергоатомиздат, 1996.
25. Острейковский В.А. «Эксплуатация атомных станций». Учебник для вузов. М., Энергоатомиздат, 1999.
26. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. «Теплообмен в ядерных энергетических установках». М., Энергоатомиздат, 2000.
27. Трунов Н.Б., Логвинов С.А., Драгунов Ю.Г. «Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР». М., Энергоатомиздат, 2001.
28. Крицкий В.Г. «Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС. С.Пб. Изд. Синто, 1996, 264 стр.
29. В.М. Седов и др. «Химическая технология теплоносителей ЯЭУ». Учебное пособие для вузов. М., Энергоатомиздат, 1985, 312 стр.
30. Адамов Е.О., Большов Л.А., Ганев И.Х. и др. Белая книга ядерной энергетики. Под общ. ред. проф. Е.О. Адамова. М., Изд. ФГУП НИКИЭТ, 2001, 270 стр.
31. Ф. Ран и др. «Справочник по ядерной энерготехнологии». М., Энергоатомиздат, 1989, 752 стр
32. Б.М. Ма. «Материалы ядерных энергетических установок». М., Энергоатомиздат, 1987, 408 стр
33. Шевелев Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного топливно-энергетического комплекса. М.: -Изд-во РГТУ, 1996. –736 с.
34. Кириллов П.Н., Богословский Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000.
35. Иванов В.А Эксплуатация атомных электростанций. –СПб.: Издательство, 1994.

#### **Дополнительная литература**

1. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. /Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Ильин Л.А. и др. /Под ред. акад. Александрова. 2-е изд. –М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Белая книга ядерной энергетики. /Адамов Е.О., Большов Л.А., Ганев И.Х. и др. –М.: Изд-во ГУП НИКИЭТ, 2001.
3. Крицкий В.Г. Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС. –СПб.: Изд-во «Синто»,1996. –264 с.
4. Тевлин С.А.Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000. –М: Изд-во МЭИ, 2002.
5. Новиков В.М., Смирнов И.С., Алексеев П.Н. Ядерные реакторы повышенной безопасности (анализ концептуальных разработок). –М.: Энергоатомиздат, 1993.
6. Кокорев Б.А., Фарафонов В.А. Парогенераторы ядерных энергетических установок с жидкометаллическим охлаждением. –М.: Энергоатомиздат, 1990.
7. Трунов Н.Б., Логвинов С.А., Драгунов Ю.Г. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР. –М.: Энергоатомиздат, 2001.
8. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных электростанций. –М.: Энергоатомиздат, 1999.
9. Ковалевич О.М. Основы обеспечения безопасности атомных станций. –М.: Изд-во МЭИ, 1999.