

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОРОНЕЖСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)



УТВЕРЖДАЮ  
И.о. ректора ВГТУ

Д.К. Проскурин

« 30 » 03 2022 г.

Система менеджмента качества

**ПРОГРАММА**  
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПРИ ПРИЕМЕ НА ОБУЧЕНИЕ  
ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ  
НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ  
КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

**2.4 Энергетика и электротехника**  
(группа научных специальностей)

**2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл,  
радиационная безопасность**  
(научная специальность)

Воронеж 2022

**I. Перечень элементов содержания, проверяемых  
на вступительном испытании по научной специальности:  
2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл,  
радиационная безопасность**

**1. Общие вопросы применения ядерной энергии. Физика ядерного реактора**

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.

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.

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.

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.

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.

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.

## **2. Гидродинамика и теплообмен в ядерных реакторах**

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.

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

### **3. Математическое моделирование и управление ядерными энергетическими установками. Радиационная безопасность**

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.

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.

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».

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

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.

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.

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

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.

## **II. Требования к уровню подготовки поступающего**

Поступающий должен знать/понимать:

- основы физики ядерного реактора: ядерные реакции, конструкцию ядерного реактора, классификацию ядерных реакторов;
- теорию ядерного материаловедения: свойства материалов ядерной энергетики, ядерные и делящиеся материалы, конструкционные и поглощающие материалы;
- процессы и системы управления ядерным блоком;
- процессы гидродинамики и теплообмена в ядерных реакторах;
- вопросы радиационной безопасности АЭС.

Поступающий должен уметь:

- разрабатывать на основе системного подхода математические модели тепловых схем;
- анализировать и производить расчет тепловых и гидравлических процессов в ядерном реакторе;
- проводить компьютерное моделирование аварийных ситуаций на энергоблоках АЭС.

## **III. Примерный вариант задания**

Поступающий получает 3 (три) вопроса, на которые он должен максимально расширенно письменно ответить. Вопросы выбираются из каждого блока.

### **Вопрос № 1**

Тепловыделяющие элементы и ТВС ядерных реакторов. Физико-химические процессы, протекающие в ТВЭЛах и ТВС в условиях эксплуатации.

### **Вопрос № 2**

Теплогидравлический расчет активных зон, охлаждаемых однофазным, двухфазным водным, жидкометаллическим, газовым теплоносителем.

### **Вопрос № 3**

Методы эксплуатационной и оперативной диагностики за состоянием металла и оборудования, трубопроводов АЭС.

#### IV. Критерии оценивания работ поступающих

Критерии оценивания работ поступающих: полнота раскрытия вопросов экзаменационного билета; логичность и последовательность изложения материала; аргументированность ответа; способность анализировать и сравнивать различные подходы к решению поставленной проблемы; готовность отвечать на дополнительные вопросы по существу экзаменационного билета. Результаты вступительного экзамена оцениваются как «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» и объявляются в день экзамена.

Оценка, баллы	Критерии оценивания
Отлично	Даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией
Хорошо	Даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией
Удовлетворительно	Даны в основном правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией; ответы на вопросы даются в основном полно при слабой логической оформленности высказывания
Неудовлетворительно	Не выполнены условия, позволяющие выставить оценку «удовлетворительно»; претендент демонстрирует непонимание вопроса; у претендента нет ответа на вопрос.

#### V. Рекомендуемая литература

##### Основная литература

1. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов : учебное пособие / Г. Г. Бартоломей [и др.]. - 3-е изд, перераб. и доп.. — Екатеринбург: Юланд, 2016. — 512 с.. — Библиогр.: с. 503-504.

2. Проскураков, Константин Николаевич. Ядерные энергетические установки : учебное пособие для вузов / К. Н. Проскураков. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2015. — 446 с.: ил.. — Библиогр.: с. 414-416. — Словарь терминов: с. 417-445.. — ISBN 978-5-383-00782-2.

3. Окунев, Вячеслав Сергеевич. Основы прикладной ядерной физики и введение в физику ядерных реакторов: учебное пособие / В. С. Окунев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Изд-во МГТУ, 2015. — 535 с.

4. Шаманин, Игорь Владимирович. Торий в ядерных реакторах: физика, технология, безопасность : учебное пособие / И. В. Шаманин, Ф. П. Кошелев,

А. А. Ухов; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 2001. — 128 с.

5. Физический расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах : учебное пособие для вузов [электронный ресурс] / В. И. Бойко [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ)

6. Коротких, Александр Геннадьевич. Теплогидравлические процессы в ядерном реакторе и расчет их основных параметров : учебное пособие [Электронный ресурс] / А. Г. Коротких, И. В. Шаманин; Томский политехнический университет (ТПУ).

7. Беденко, Сергей Владимирович. Основы управления нейтронным полем в ядерном реакторе: учебное пособие [электронный ресурс] / С. В. Беденко, В. Н. Нестеров, И. В. Шаманин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 1.96 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — Заглавие с титульного экрана.

8. Беденко, Сергей Владимирович. Основы учета и контроля делящихся материалов в производстве : учебное пособие [Электронный ресурс] / С. В. Беденко, И. В. Шаманин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 3.4 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2011.

9. Алексеев, Сергей Владимирович. Дисперсионное ядерное топливо / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев, С. С. Толстоухов. — Москва: Техносфера, 2015. — 246 с.: ил.. — Библиогр.: с. 228-246.. — ISBN 978-5-94836-428-5.

10. Савандер В.И. Физическая теория ядерных реакторов: учебное пособие для вузов. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2013.

11. Апсэ В.А., Шмелев А.Н., Куликов Е.Г., Куликов Г.Г. Ядерные технологии. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2013.

12. Апсэ В.А., Ксенофонтов А.И., Савандер В.И., Тихомиров Г.В., Шмелев А.Н. Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014.

13. Кузьмин А.М., Шмелев А.Н., Апсэ В.А. Моделирование физических процессов в энергетических ядерных реакторах на быстрых нейтронах: учебное пособие для вузов. – Москва: МЭИ, 2015.

14. Бушуев А.В., Алеева Т.Б. Методы и приборы измерений ядерных материалов: учебное пособие для вузов. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2011.

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Бекман И.Н., Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения: учебник для бакалавриата и магистратуры : . — Москва: Юрайт, 2016.

2. Бекман И.Н., Радиоэкология и экологическая радиохимия: учебник для бакалавриата и магистратуры – Москва: Юрайт, 2016.

3. Бекман, И.Н.. Ядерные технологии: учебник для бакалавриата и магистратуры : — Москва: Юрайт, 2016, Климов, Аполлон Николаевич. Ядерная физика и ядерные реакторы : учебник / А. Н. Климов. — 3-е изд., стер.. — Екатеринбург: АТП, 2015. — 350 с.

4. Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. М.: Либроком, 2009. — 480 с. Галанин А.Д. Введение в теорию ядерных реакторов на тепловых нейтронах. Учебное пособие. – М.: ЭА, 1990. – 536с.

5. Крамеров А.Я., Шевелев Я.В. Инженерные расчеты ядерных реакторов. М.: ЭА, 1984. 736 с.

6. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения : учебное пособие [электронный ресурс] / В. И. Бойко [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). —Томск: Изд-во ТПУ, 2009.

7. Тепловыделение в ядерном реакторе / Е.С. Глушков, В.Е. Демин, Н.Н. Пономарев-Степной, А.А. Хрулев / Под ред. Н.Н. Пономарева-Степного. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 160 с.

8. Кириллов, Павел Леонидович. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов / П. Л. Кириллов, Г. П. Богословская. — 2-е изд., перераб.. — Москва: ИздАт, 2008. — 256 с. Б. М. Ма Материалы ядерных энергетических установок / Б.М. Ма ; Перевод с англ. Ю. Ф. Чернилина.М. : Энергоатомиздат, 1987.

9. Дементьев, Борис Александрович. Ядерные энергетические реакторы : учебник / Б. А. Дементьев. — 2-е изд., перераб. и доп.. — Москва: Энергоатомиздат, 1990. — 352 с.: ил.. — ISBN 5-283-03836-X.

## **Internet и Intranet-ресурсы**

1. <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=457> – ЭК на платформе LMS MOODLE «Ядерная физика и ядерные технологии».
2. <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=751> - ЭК на платформе LMS MOODLE «Ядерная физика».
3. <https://www.lib.tpu.ru/fulltext/m/2010/m2/main.html> - Электронный учебник «Введение в ядерную физику».
4. <https://minenergo.gov.ru> - Министерство энергетики российской федерации.
5. <http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/safety/> - Концерн «Росэнергоатом».
6. [www.sra-russia.ru](http://www.sra-russia.ru) - Российское научное Общество анализа риска.
7. <http://magbvt.ru/index.html> - сайт журнала «Безопасность в техносфере».
8. <http://www.scopus.com/> - реферативная база данных Scopus.
9. <https://elibrary.ru> – научная электронная библиотека.