**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТШ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О.Ю. Долматов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 г.

**ПРОГРАММА кандидатского экзамена**

ПРИЕМ **2024 г.**

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ **очная**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **2.4.9. ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ,**  **РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ** | | | | | | |
|  |  | | | | | |
| Уровень образования | Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации | | | | | |
| Курс | 2 | | | семестр | | **4** |
|  |  | | | | | |
|  |  | | | | | |
|  | | |  | | | |
| Заведующий кафедрой - руководитель Научно-образовательного центра международного ядерного образования и карьерного сопровождения иностранных студентов ТПУ | |  | | | В.В. Верхотурова | |
| Руководитель программы аспирантуры | |  | | | О.Ю. Долматов | |

2024 г.

1. **Общие положения**

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность, состояния ядерной энергетической системы страны, открытого и закрытого топливного цикла, перспективы развитии двухкомпонентной ядерной энергетики на базе парка действующих и проектируемых ядерных энергетических установок.

Направления исследований по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность:

1. 1. Нейтронно- и тепло-физические исследования процессов при старте, работе на мощности и останове реактора.
2. Разработка регламентов по выводу из эксплуатации ядерных объектов различного назначения, включая системы и элементы систем хранения ОЯТ.
3. Влияние константного обеспечения современных баз ядерных данных на нейтронные и теплогидралические параметры активных зон ЯЭУ.
4. Численное моделирование задач ядерной и радиационной безопасности с применением прецизионных программных кодов Монте-Карло.
5. Работоспособность реакторного графита в традиционных и перспективных уран-графитовых реакторах.
6. Исследование возможности достижения сверхдлинных кампаний ядерного топлива в АС малой мощности.
7. Нейтронно-физическая оценка возможности реализации замкнутого ядерного топливного цикла в ядерных реакторах на тепловых и быстрых нейтронах.
8. Разработка регламентов и процедур при обращении со свежим и отработавшим топливом действующих реакторов и РУ нового поколения в традиционных и перспективных топливных циклах.
9. Исследование жизненного цикла ЯЭУ и принципы управления сроком службы.
10. Исследования физики высокотемпературной газоохлаждаемой ториевой реакторной установки малой мощности.
11. Оптимизация систем долговременного хранения и ОЯТ с целью минимизации наведенной активности в элементах их конструкции.
12. Разработка структурных схемы безопасного переключения топлива и ядерного материала по стадиям открытого и закрытого топливного цикла.
13. Баланс масс основных ядерных материалов и актиноидов в традиционном, уран-плутониевом, торий-урановом и смешанном ядерном топливном цикле.
14. **Содержание и структура кандидатского экзамена**

**1. Общие сведения**

1. Ядерная энергетика в энергетическом балансе. Требования к энергетическим технологиям. Перспективы развития ядерной энергетики.
2. Экономические аспекты использования ядерной энергии. Составляющие издержек производства электроэнергии на АЭС. Снятие АЭС с эксплуатации.
3. Топливный цикл ядерной энергетики. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла. Организация радиационного контроля и мониторинга на стадиях топливного цикла.
4. Вопросы экономики традиционных и перспективных топливных циклов.
5. Проблема нераспространения ядерных материалов. Технические проблемы нераспространения ядерных материалов.

**2. Основы проектирования и конструирования ядерных**

**энергетических установок**

1. Основы ядерной и нейтронной физики. Состав и характеристики ядер. Закон и характеристики радиоактивного распада. Ядерные реакции и их особенности.
2. Нейтронный цикл в ядерном реакторе. Эффективный коэффициент размножения нейтронов. Условия критичности. Закономерности формирования пространственно-энергетического распределения нейтронов и удельного выделения энергии.
3. Кинетика реактора. Роль запаздывающих нейтронов. Критическое и подкритическое состояние реактора. Динамические характеристики, обратные связи, устойчивость и способы регулирования реактора.
4. Источники и методы регистрации нейтронов, экспериментальные методы измерения сечений нейтронных реакций, размножающих свойств среды и нуклидного состава топлива.
5. Эффекты реактивности. Выгорание и воспроизводство ядерного топлива. Топливные циклы. Перегрузки топлива. Ядерная безопасность.
6. Источники ионизирующих излучений в ядерных энергетических установках. Система теплоносителя как источник излучений. Закономерности ослабления ионизирующих излучений в веществе. Радиационное повреждение реакторных материалов.
7. 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.
8. Циклы паротурбинных и газотурбинных установок. Энергетический баланс и КПД ядерных энергетических установок.
9. Прочность оборудования и трубопроводов ядерных энергетических установок. Статическая прочность. Устойчивость. Циклическая прочность. Хрупкая прочность. Выборочность. Расчет на прочность при сейсмических воздействиях. Испытания натурного оборудования и модельных образцов.
10. 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».
11. 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.
12. Физические принципы реакторов с естественной безопасностью.
13. 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.
14. 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.

**3. Ядерные энергетические установки**

1. Атомные станции. Типы атомных станций. Основные компоненты и системы энергоблоков АЭС. Судовые и космические ядерные энергетические установки. Передвижные и блочно-транспортабельные ядерные энергетические установки. Радионуклидные генераторы. Термоядерные реакторы. Гибридные системы синтеза – деления. Классификация ядерных реакторов.
2. Теплоносители ядерных реакторов. Требования, особенности применения. Водно-химические режимы первого (второго) контура. Технологии жидкометаллических, органических, газовых теплоносителей.
3. Материалы в реакторостроении. Условия работы и критерии выбора. Теплоустойчивые стали, коррозионностойкие стали, циркониевые сплавы, нержавеющие стали, никилевые сплавы, сплавы на основе титана, высокотемпературные сплавы, графит, керамические материалы. Материалы органов управления реактивностью. Материалы замедлителей и отражателей. Материалы защиты.
4. 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.
5. Органы регулирования ядерных реакторов. Назначение, состав, конструкции и функциональное использование. Особенности органов регулирования реакторов различных типов. Использование жидких, газообразных и сыпучих поглотителей.
6. 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.
7. 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.
8. Канальные водографитовые и тяжеловодные реакторы. Развитие канальных реакторов. Первая в мире, Сибирская, Белоярская АЭС, Билибинская АТЭЦ. Реакторы РБМК-1000, РБМК-1500. Металлоконструкции. Активная зона. Контур многократной принудительной циркуляции. Системы нормальной эксплуатации и системы безопасности. Канальные тяжеловодные реакторы.
9. Реакторы, охлаждаемые газом. Развитие реакторов. Реакторы с гелиевым теплоносителем. Активные зоны из шаровых, стержневых твэлов и призматических блоков.
10. Ядерные реакторы нового поколения - с водой под давлением, бассейновые, канальные, с жидкометаллическим теплоносителем (натрием, свинцом-висмутом, свинцом), модульные, охлаждаемые газом с использованием газовой турбины, с циркулирующим топливом, с расплавно-солевым теплоносителем.
11. Исследовательские реакторы. Физические и конструктивные особенности. Экспериментальные устройства исследовательских реакторов. Стационарные и учебно-исследовательские реакторы.
12. Теплообменное и сепарационное оборудование реакторных установок. Парогенераторы для АЭС с ВВЭР и PWR, теплообменные аппараты АЭС с БН, ВТГР, сепараторы пара. Основные характеристики.
13. Насосы ядерных энергетических установок. Главные циркуляционные насосы. Питательные насосы. Конструкция опор, уплотнений вала. Основные характеристики.
14. Системы перегрузки топлива. Способы перегрузки. Хранилища отработавшего ядерного топлива. Транспортно-технологическое оборудование. Перегрузочные устройства.
15. Трубопроводы, опоры и опорные конструкции оборудования и трубопроводов. Гидроамортизаторы. Трубопроводная и регулирующая арматура.

**4. Сооружение, монтаж и эксплуатация ядерных энергетических установок**

1. 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.
2. 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.
3. Дезактивация технологического оборудования, зданий и сооружений. Основные методы и организация дезактивации. 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.

**5. Управление сроком службы ядерных энергетических установок**

1. Жизненный цикл ядерной энергетической установки и принципы управления сроком службы
2. Продление срока службы. Вывод из эксплуатации.
3. Обеспечение и повышение безопасности при продлении эксплуатации.
4. Повреждающие факторы. Технологическая последовательность операций. Радиоактивные материалы при снятии с эксплуатации ядерных энергетических установок.
5. Транспортировка и хранение топлива. Удаление радиоактивных отходов высокой и средней активности. Дезактивация оборудования. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами.
6. Особенности снятия с эксплуатации судовых ядерных энергетических установок.

**Дополнительная часть программы кандидатского экзамена,**

**включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

1. **Ядерные энергетические технологии**

Физические явления и эффекты, обеспечивающие преобразование потоков тепла в электрический ток. Термоэлектрический элемент (преобразователь), каскад термоэлектрических элементов. Процессы, протекающие в каскаде, КПД термоэлектрического генератора. Термоэлектрические генераторы тока и напряжения. Термоэлектрические генераторы с ядерным источником тепла.

Перспективы использования ядерных энергетических установок в энергоемких технологических процессах

Технологические схемы подвода тепла (тепловых потоков) в металлургических и высокотемпературных химических производствах.

Требуемые и оптимальные “параметры тепла” для организации различных энергоемких технологических процессов. Управление “параметрами тепла”, отводимого от высокотемпературных ядерных реакторов.

**2. Ядерные топливные циклы нового поколения**

Ядерный топливный цикл (ЯТЦ)

Свойства радиоактивных нуклидов, использующихся в различных ЯТЦ

Основные варианты ядерных топливных циклов

Повторное использование плутония в реакторах на тепловых и быстрых нейтронах

Баланс ядерных материалов и актиноидов в уран-плутониевом топливном цикле

Открытый торий-плутониевый ядерный топливный цикл на базе серийных

легководных реакторов

Баланс ядерных материалов и актиноидов в торий-плутониевом топливном цикле

Смешанная загрузка легководного реактора под давлением

Состав облученного ядерного топлива (ОЯТ)

ОЯТ в различных вариантах ЯТЦ

**3. Перспективные и специальные ядерные энергетические установки (ЯЭУ).**

**Реакторные установки нового поколения**

Реакторы нового поколения с графитовым замедлителем

Газоохлаждаемые высокотемпературные реакторы

Новое поколение реакторов на быстрых нейтронах

Атомные станции малой мощности

Автономные ядерные энергетические установки

Судовые ядерные энергетические установки

Ядерные реакторы космических энергетических установок

**4. Экспериментальная реакторная физика**

Исследовательские ядерные реакторы (ИР)

Реакторное материаловедение

# Реакторное производство искусственных нуклидов

# Исследования на действующих ядерных реакторах

Построение систем внутриреакторного контроля, датчики нейтронных потоков

Средства внутриреакторного теплотехнического контроля

1. **Методические указания по процедуре проведения**

**и оценивания кандидатского экзамена**

**Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена**

К кандидатскому экзамену допускаются:

* аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
* соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами НОЦ ЦМЯО ИЯТШ, на базе которого ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

*Требования к оформлению*. Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

*Структура реферата включает* титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

*Титульный лист* является первым листом реферата и заполняется по образцу.

*Содержание* включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной* *части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

**Проведение кандидатского экзамена**

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн.

Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса — это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в отделении / НОЦ. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **% выполнения заданий**  **экзамена** | **Экзамен, балл** | **Соответствие**  **традиционной оценке** | **Определение оценки** |
| 90%÷100% | 18 ÷ 20 | «Отлично» | Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному |
| 70% - 89% | 14 ÷ 17 | «Хорошо» | Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов |
| 55% - 69% | 11 ÷ 13 | «Удовл.» | Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов |
| 0% - 54% | 0 ÷ 10 | «Неудовл.» | Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям |

1. **Рекомендуемая литература**

**Основная литература**

1. Лебедев, В. А. Ядерные энергетические установки : учебное пособие / В. А. Лебедев. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-1868-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/212147 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
2. Бекман, И. Н. Ядерные технологии: учебник для вузов / И. Н. Бекман. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2020 – (Высшее образование). – Текст : электронный // ЭБС Юрайт: [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/426112 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Бекман, И. Н. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения : учебник для вузов / И. Н. Бекман. – 2-е из–д., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2022. – 493 с.: ил. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08692-8. – Доступ: в фонде НТБ ТПУ.
4. Бекман, И. Н. Ядерные технологии : учебник для вузов / И. Н. Бекман. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 500 с.: ил. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08681-2. – Доступ: в фонде НТБ ТПУ.
5. Русаков, И. Ю. Основы конструирования и расчета оборудования химических и атомных производств : учебное пособие / И. Ю. Русаков, В. Л. Софронов; Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт. – Северск : Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2021. – 272 с.: ил. – ISBN 978-5-93915-139-9. – Доступ: в фонде НТБ ТПУ.
6. Ташлыков, О. Л. Ядерные технологии : учебное пособие для СПО / О. Л. Ташлыков; Уральский федеральный университет (УрФУ) ; под науч. ред. С. Е. Щеклеина. – Москва : Юрайт, 2022. – 210 с.: ил. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-14184-9. – Доступ: в фонде НТБ ТПУ.
7. Введение в технологию ядерного топлива : учебное пособие / составители А. Н. Дьяченко [и др.]. – Томск : ТПУ, 2023. – 160 с. – ISBN 978-5-4387-1116-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/481661 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
8. Таккер, К. Как управлять ядерным реактором / К. Таккер ; пер. с анг. А. Н. Рабодзей. – Москва : ДМК Пресс, 2022. – 230 с. – ISBN 978-5-93700-132-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/314840 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
9. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3 томах. Том 2. Физика ядерных реакций : учебник для вузов / К. Н. Мухин. – 8-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 320 с. – ISBN 978-5-507-50600-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/448628 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
10. Черкашина, Н. И. Радиационная безопасность : учебное пособие / Н. И. Черкашина. – Севастополь : СевГУ, 2022. – 195 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/261887 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
11. Ташлыков, О. Л. Ядерные технологии : учебное пособие для вузов / О. Л. Ташлыков ; под научной редакцией С. Е. Щеклеина. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 198 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-18066-4. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/539318 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
12. Тепловые схемы и циклы атомных электростанций : учебное пособие / В. Н. Новиков, И. С. Радовский, Ю. Е. Литвинцова [и др.]. – 2-е изд., доп. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2021. – 40 с. – ISBN 978-5-7262-2828-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/284384 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
13. Грибков, А. М. Эксплуатация атомных электростанций : учебное пособие / А. М. Грибков, Н. Д. Чичирова. – Казань : КГЭУ, 2024. – 238 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/487301 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
14. Коннова, Л. А. Основы радиационной безопасности / Л. А. Коннова, М. Н. Акимов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 164 с. – ISBN 978-5-507-47342-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/362303 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
15. Карелин, В. А. Экстракционная переработка облученного ядерного топлива : учебное пособие / В. А. Карелин. – Томск : ТПУ, 2020. – 125 с. – ISBN 978-5-4387-0928-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/246134 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
16. Каратушина, И. В. Технологические системы и оборудование реакторного отделения энергоблока с реактором ВВЭР-1000 : учебное пособие / И. В. Каратушина, В. А. Разин. – Нижний Новгород : НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2023. – 365 с. – ISBN 978-5-502-01638-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/492176 (дата обращения: 30.06.2025). – – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

**Дополнительная литература**

1. Бекман, Игорь Николаевич. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения : учебник для вузов / И. Н. Бекман. – 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2022. – 493 с.: ил. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08692-8. – Доступ: в фонде НТБ ТПУ.
2. Бекман, Игорь Николаевич. Ядерные технологии : учебник для вузов / И. Н. Бекман. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 500 с.: ил. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08681-2. – Доступ: в фонде НТБ ТПУ.
3. Грибков, А. М. Эксплуатация атомных электростанций : учебное пособие / А. М. Грибков, Н. Д. Чичирова. – Казань : КГЭУ, 2024. – 238 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/487301 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
4. Вахрушин, А. Ю. Атомная энергетика и промышленность : учебное пособие для вузов / А. Ю. Вахрушин, И. Д. Трошкина, А. А. Жеребцов. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 136 с. – ISBN 978-5-507-51727-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/455612 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
5. Алиев, Р. А. Радиоактивность : учебное пособие для вузов / Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 304 с. – ISBN 978-5-8114-9069-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/184130 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
6. Плутоний справочник / под ред. О. Вика . – Москва : Атомиздат , 1971-1973 Т. 2 . – 1973. – 456 с.: ил. – Доступ: в фонде НТБ ТПУ.
7. Ядерное топливо и его переработка / В. А. Зайцев, Ю. А. Кузма-Кичта, Д. В. Стефановский [и др.]. — Москва : Техносфера, 2022. – 224 с.: ил. – ISBN 978-5-94836-651-7. – Доступ: в фонде НТБ ТПУ.
8. Орлов, Г. Г. Тепловые и атомные электростанции : учебно-методическое пособие / Г. Г. Орлов, М. Ю. Зорин, С. Д. Горшенин. – Иваново : ИГЭУ, 2022. – 120 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/369740 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
9. Уралов, Д. А. Атомные электростанции : учебно-методическое пособие / Д. А. Уралов. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2022. – 120 с. – ISBN 978-5-7262-2787-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/355568 (дата обращения: 30.06.2025). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.