

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

А. В. Германенко

« » 2022 г.



ПРОГРАММА

вступительных испытаний в аспирантуру по научной специальности

2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл,
радиационная безопасность

Екатеринбург

2022

	Содержание	Стр.
1.	Назначение и область применения	3
2.	Содержание программы.....	3
3.	Вопросы для вступительного испытания.....	5
4.	Критерии оценки знаний претендентов на поступление в аспирантуру по научной специальности	
	2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность	7
5.	Список рекомендуемой литературы (основная и дополнительная).....	7
6.	Рекомендуемые Интернет-ресурсы.....	9
	Лист согласования.....	11

1. Назначение и область применения

Программа определяет требования к содержанию вступительных испытаний в аспирантуру по научной специальности 2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Предназначена для подготовки к вступительному экзамену в аспирантуру по научной специальности 2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

2. Содержание программы

Техническая термодинамика

Основные понятия и исходные положения термодинамики. Предмет и метод термодинамики. Термодинамическая система. Основные термодинамические параметры состояния. Уравнение состояния. Термодинамический процесс.

Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Работа расширения. Теплота. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Теплоемкость газов. Энтальпия.

Второй закон термодинамики. Энтропия. Общая формулировка второго закона. Прямой цикл Карно. Обобщенный регенеративный цикл Карно. Обратный цикл Карно. Изменение энтропии в необратимых процессах. Статистическое толкование второго начала термодинамики. Максимальная работа. Эксергия.

Основные термодинамические процессы в газах, парах и их смесях. Термодинамические процессы идеальных газов в закрытых системах. Термодинамические процессы реальных газов. Смеси идеальных газов. Влажный воздух.

Особенности термодинамики открытых систем. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Истечение из суживающегося сопла. Основные закономерности течения газа в соплах и диффузорах. Расчет процесса истечения с помощью h , s -диаграммы. Дросселирование газов и паров. Термодинамический анализ процессов в компрессорах. Эксергия потока рабочего тела.

Циклы теплосиловых установок. Термодинамическая эффективность циклов теплосиловых установок. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Цикл газотурбинной установки. Циклы паротурбинных установок. Парогазовый цикл.

Основы тепло- и массообмена

Основные понятия и определения. Способы передачи теплоты. Количественные характеристики переноса теплоты. Понятие о массопереносе.

Теплопроводность. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме. Теплопроводность при нестационарном режиме (нагревание и охлаждение тел).

Конвективный теплообмен (теплоотдача). Основной закон конвективного теплообмена. Понятие о гидродинамическом и тепловом пограничных слоях. Дифференциальные уравнения конвективного теплопереноса. Применение теории подобия при изучении процессов теплоотдачи. Понятие о методе анализа размерностей. Экспериментальный метод получения критериальных уравнений теплоотдачи. Аналогия процессов теплопереноса.

Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя. Теплоотдача при естественной конвекции. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества.

Теплообмен при кипении жидкости и при конденсации пара. Механизм парообразования при пузырьковом кипении. Теплоотдача при пленочном кипении. Режимы течения, структура двухфазного потока и теплоотдача при кипении в трубах. Теплообмен при пленочной конденсации пара.

Лучистый теплообмен. Описание процесса и основные определения. Основные законы лучистого теплообмена. Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде. Использование экранов для защиты от излучения. Излучение газов.

Теплопередача. Сложный теплообмен. Теплопередача между двумя жидкостями через разделяющую их стенку. Интенсификация теплопередачи. Тепловая изоляция.

Основы теплового расчета теплообменных аппаратов. Типы теплообменных аппаратов. Расчетные уравнения. Виды теплового расчета теплообменников.

Физические основы ядерной энергетики

Ядерная и нейтронная физика. Состав и свойства ядра. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции. Взаимодействие нейтронов с ядрами. Сечения нейтронных реакций. Рассеяние нейтронов. Особенности реакции деления ядер. Энергия деления. Диффузия и замедление нейтронов в среде. Нейтроны деления. Спектр нейтронов деления. Мгновенные и запаздывающие нейтроны. Цепная реакция деления. Коэффициент размножения нейтронов в бесконечной среде. Эффективный коэффициент размножения.

Физические основы функционирования ядерных энергетических реакторов. Физическая классификация ядерных реакторов. Гомогенные и гетерогенные ядерные реакторы. Теория критических размеров. Гомогенный реактор без отражателя и с отражателем. Теория гетерогенного реактора (теория решетки). Коэффициент размножения на быстрых нейтронах. Вероятность избежать резонансного поглощения. Коэффициент использования тепловых нейтронов. Число вторичных нейтронов деления. Физические особенности реакторов на тепловых, быстрых и промежуточных нейтронах.

Нестационарные процессы в ядерном реакторе. Элементарная кинетика реактора. Кинетика реактора с учетом запаздывающих нейтронов. Понятие реактивности. Эффекты и коэффициенты реактивности. Температурный, мощностной, паровой эффекты реактивности. Запас реактивности в реакторе. Выгорание ядерного топлива. Отравление реактора. Воспроизводство ядерного топлива. Способы и органы регулирования реактивности.

Теплофизические особенности ядерных реакторов. Теплопередача в активной зоне ядерного реактора. Ядерные реакторы, охлаждаемые водой под давлением. Ядерные реакторы с жидкометаллическим теплоносителем. Принцип естественной циркуляции теплоносителя в кипящих реакторах.

Схемы и оборудование атомных станций

Тепловые схемы атомных станций. Классификация атомных станций. Принципиальные схемы производства пара на АЭС. Элементы тепловой схемы АС (основное оборудование). Одноконтурные АЭС с реактором кипящего типа. Двухконтурные АЭС с водо-водяным реактором под давлением. Трехконтурные АЭС с жидкометаллическим теплоносителем. Схемы многоцелевых АС (для опреснения вод, для обеспечения теплом промышленности).

Системы и оборудование реакторного отделения. Конструкции и особенности реакторов ВВЭР, РБМК. Реакторы на быстрых нейтронах. Внутрикорпусные устройства ядерных энергетических установок. Методы выбора обоснования и контроля качества конструкционных материалов ядерной техники. Образцы-свидетели корпусной стали. Биологическая защита ЯЭУ. Барьеры безопасности. Тепловыделяющие элементы и тепловыделяющие сборки (ТВС). Конструкции ТВС для различных типов ЯЭР. Картограмма загрузки активной зоны ЯЭУ. Перегрузка топлива. Парогенераторы атомных станций: общие характеристики и конструкционные схемы.

Вопросы безопасности ядерной энергетики

Основы дозиметрии и защиты от ионизирующих излучений. Виды ионизирующих излучений. Поглощенная, эквивалентная, эффективная доза облучения. Биологическое действие ионизирующего излучения. Соматический и стохастический эффекты облучения. Методы регистрации и дозиметрии ионизирующих излучений. Методы регистрации нейтронов. Коэффициенты линейного и массового ослабления. Слой половинного ослабления. Кратность ослабления. Нормы радиационной безопасности. Приборы дозиметрического и специального технологического контроля на АЭС.

Обращение с радиоактивными отходами (РАО). Источники РАО. Причины радиоактивного загрязнения оборудования. Классификация радиоактивных отходов. Методы дезактивации оборудования. Обращение с радиоактивными отходами: твердыми, жидкими, газообразными.

Принципы обеспечения безопасности ЯЭУ. Пуск реактора, работа на мощности, останов. Автоматическое регулирование мощности. Аварийная защита реактора. Саморегулирование реактора. Системы аварийного охлаждения реакторов. Системы локализации аварий. Стратегия глубоко эшелонированной защиты. Физические барьеры безопасности. Активные и пассивные системы безопасности. Внутренне присущая активной зоне безопасность, основанная на законах природы. Естественная безопасность реакторов и ядерного топливного цикла.

Техническое обслуживание и ремонт оборудования АЭС. Управление ресурсом, продление срока службы корпусных конструкций, машин, агрегатов и их систем. Снятие с эксплуатации. Этапы жизненного цикла атомной станции.

Методы экспериментального исследования

Методы экспериментального исследования процессов тепло- и массообмена. Физическое подобие. Фундаментальные числа подобия. Методы экспериментального исследования полей температуры, давления, скорости, концентрации. Методы экспериментального исследования конвективного тепло- и массообмена. Оптимизация теплофизического эксперимента.

Типовые статистические методы обработки опытных данных. Получение экспериментальной зависимости. Оценка погрешности.

Элементы планирования эксперимента.

Системы автоматизации экспериментальных исследований.

3. Вопросы для вступительного испытания

– Основные газовые законы. Уравнение состояния идеального газа. Уравнения и графики основных термодинамических процессов идеального газа.

- Первый закон термодинамики и его записи через внутреннюю энергию и энтальпию. Уравнение первого закона термодинамики для потока.
- Понятие теплоемкости. Теплоемкость в адиабатном, изобарном и изохорном процессах.
- Формулировка второго закона термодинамики. Математическая запись.
- Цикл Карно и его коэффициент полезного действия.
- Цикл Ренкина и его к.п.д. Способы повышения эффективности использования топлива в цикле Ренкина.
- Основной закон теплопроводности – закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Методика расчета теплового потока теплопроводностью через многослойную стенку.
- Виды конвекции. Основное уравнение конвективного теплопереноса – уравнение Ньютона. Коэффициент теплоотдачи, его размерность, методика определения.
- Теплообмен излучением. Закон Стефана-Больцмана.
- Коэффициент теплопередачи. Понятие термического сопротивления теплоотдачи, теплопроводности и теплопередачи.
- Теплообмен при кипении жидкости.
- Теплообмен при конденсации пара.
- Ядерные реакции. Виды взаимодействия нейтронов с ядрами. Рассеяние нейтронов. Реакция деления ядер.
- Физические особенности ядерных реакторов разных типов.
- Время жизни нейтронов. Запаздывающие и мгновенные нейтроны.
- Коэффициент размножения нейтронов. Подкритическое, критическое и надкритическое состояния реактора.
- Реактивность. Эффекты и коэффициенты реактивности. Температурный, мощностной, паровой эффекты реактивности.
- Способы и органы регулирования реактивности. Кампания топлива, перегрузки.
- Отравление и зашлаковывание реактора.
- Выгорание и воспроизводство ядерного топлива.
- Пуск реактора, работа на мощности, останов. Автоматическое регулирование мощности. Саморегулирование реактора.
- Стратегия глубоко эшелонированной защиты. Физические барьеры безопасности. Пассивные и активные системы безопасности.
- Одноконтурные, двухконтурные и трехконтурные схемы АЭС.
- Парогенераторы АЭС.
- Внутрикорпусные устройства ЯЭУ. Образцы-свидетели корпусной стали.
- Тепловыделяющие элементы и тепловыделяющие сборки для различных типов ЯЭР. Картограмма загрузки активной зоны ЯЭУ. Перегрузка топлива.
- Виды ионизирующих излучений. Поглощенная, эквивалентная и эффективная доза облучения. Биологическое действие ионизирующего излучения. Нормы радиационной безопасности.
- Методы регистрации и дозиметрии ионизирующих излучений. Методы регистрации нейтронов.
- Коэффициенты линейного и массового ослабления. Слой половинного ослабления. Кратность ослабления.
- Методы экспериментального изучения процессов тепло- и массообмена. Физическое подобие. Числа подобия.
- Теплофизический эксперимент и методы обработки опытных данных. Элементы планирования эксперимента.

4. Критерии оценки знаний претендентов на поступление в аспирантуру по научной специальности 2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность

Оценка ответов претендентов на поступление в аспирантуру по данному направлению производится по стобалльной шкале и выставляется согласно критериям, приведенным в таблице. Граница положительной оценки 30 баллов.

Критерии оценки ответов претендентов при поступлении в аспирантуру

Оценка	Критерии
81 – 100 баллов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ответы на поставленные вопросы излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. 2. Демонстрируются глубокие знания по дисциплине. Делаются обоснованные выводы. 3. Даны исчерпывающие ответы на дополнительные вопросы комиссии. 4. Ответ самостоятельный, при ответе использованы знания, приобретённые ранее.
61 – 80 баллов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. 2. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. 3. Материал излагается уверенно, в основном правильно даны все определения и понятия. 4. Даны полные ответы на дополнительные вопросы комиссии. 5. Допущены небольшие неточности при выводах и использовании терминов.
30 – 60 баллов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Допускаются нарушения в последовательности изложения при ответе. 2. Демонстрируются поверхностные знания дисциплины. 3. Имеются затруднения с выводами. 4. Определения и понятия даны не чётко. 5. Ответы на дополнительные вопросы комиссии не даны.
0 – 29 баллов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не демонстрирует определённой системы знаний по дисциплине. 2. Не даны ответы на дополнительные вопросы комиссии. 3. Допущены грубые ошибки в определениях и понятиях.

5. Список рекомендуемой литературы (основная и дополнительная)

Основная литература:

1. Базаров, Иван Павлович. Термодинамика : учебник / И. П. Базаров .— Изд. 5-е, стер. — Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010 .— 384 с. : ил. ; 21 см .— (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Тираж 1000 экз. — Предм. указ.: с. 374-376. — Библиогр. в примеч. — ISBN 978-5-8114-1003-3.
2. Баскаков, Альберт Павлович. Техническая термодинамика : учебное пособие / А. П. Баскаков, Е. Ю. Павлюк ; науч. ред. В. А. Мунц .— Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2010 .— 128 с. : ил., табл. ; 20 см .— Прил. содерж. справ. материал. — Библиогр.: с. 76 (4 назв.). — без грифа, 100 экз.
3. Кудинов, Анатолий Александрович. Тепломассообмен : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. 140100 "Теплоэнергетика и теплотехника" /

- А. А. Кудинов .— Москва : ИНФРА-М, 2012 .— 375 с. — (Высшее образование) .— Библиогр.: с. 358-359 (62 назв.) .— ISBN 978-5-16-004729-4.
4. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / А.И. Бельтюков, А.И. Карпенко, С.А. Полуяков, О.Л. Ташлыков, Г.П. Титов, А.М. Тучков, С.Е. Щеклеин; под общ. Ред. С.Е. Щеклеина, О.Л. Ташлыкова. – Екатеринбург : УрФУ, 2013. – 548 с.
 5. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2 / А.И. Бельтюков, А.И. Карпенко, С.А. Полуяков, О.Л. Ташлыков, Г.П. Титов, А.М. Тучков, С.Е. Щеклеин; под общ. Ред. С.Е. Щеклеина, О.Л. Ташлыкова. – Екатеринбург : УрФУ, 2013. – 420 с.
 6. Ташлыков, Олег Леонидович. Парогенераторы АЭС : учебник для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки 14.05.02 "Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг" / О. Л. Ташлыков, А. И. Бельтюков ; науч. ред. С. Е. Щеклеин; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина .— Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2019 .— 302, [1] с. : ил. — (Учебник УрФУ / [редкол.: И. Ю. Плотникова (отв. ред.) и др.]) .— Библиогр.: с. 301-302 (17 назв.), библиогр. в примеч. — ISBN 978-5-7996-2675-4, 50 экз.
 7. Ташлыков, Олег Леонидович. Основы ядерной энергетики : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 14.05.02 "Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг" / О. Л. Ташлыков; [науч. ред. С. Е. Щеклеин] ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, [Урал. энергет. ин-т] .— Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016 .— 212 с. : ил. — Библиогр.: с. 194-196 (24 назв.) .— ISBN 978-5-7996-1822-3, 200 экз.
 8. Новиков, Геннадий Абрамович. Обеспечение безопасности в области использования атомной энергии : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 14.05.02 "Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг" / Г. А. Новиков, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин ; под общ. ред. Г. А. Новикова ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина .— Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2017 .— 552 с. : ил. — (Учебник УрФУ / [редкол.: И. Ю. Плотникова (отв. ред.) и др.]) .— Библиогр.: с. 540-547, библиогр. в тексте .— ISBN 978-5-7996-2125-4.

Дополнительная литература

1. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Беспалов В.И. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2012. — 508 с. — Режим доступа: URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442088>.
2. Брюханов, О.Н. Теплообмен : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Стр-во" / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко .— Москва : ИНФРА-М, 2012 .— 464 с. : ил. — (Высшее образование. Бакалавриат) .— Библиогр.: с. 456-461 (119 назв.) .— ISBN 978-5-16-004803-1.
3. Дементьев, Борис Александрович. Кинетика и регулирование ядерных реакторов : Учеб. пособие для вузов / Б. А. Дементьев .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1986 .— 271 с.
4. Дементьев, Борис Александрович. Ядерные энергетические реакторы : Учеб. для вузов по специальности "Атом. электростанции и установки" / Б. А. Дементьев .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1990 .— 352 с. : ил. ; 22 см .— допущено в качестве учебника .— 1.10.

5. Денисов В.П., Драгунов Ю.Г. Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций. М.: ИздАТ, 2002, 480 с. — ISBN 978-5-86656-133-6. — Режим доступа: http://elib.biblioatom.ru/text/denisov_reaktornye-ustanovki-vver_2002/go,0/
6. Кудинов, Василий Александрович. Техническая термодинамика : учеб. пособие для студентов втузов / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов .— Изд. 4-е, стер. — Москва : Высшая школа, 2005 .— 261 с. : ил. ; 21 см .— Библиогр.: с. 255 (20 назв.). — Рекомендовано в качестве учебного пособия .— ISBN 5-06-004344-4.
7. Маргулова, Тереза Христофоровна. Атомные электрические станции : учеб. для вузов по специальности "Атом. электростанции и установки", "Пр-во и монтаж оборуд АЭС", "Автоматизация теплоэнерг. процессов" / Т. Х. Маргулова .— 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 1984 .— 304с. : ил. ; 22 м .— допущено в качестве учебника .— 1.20.
8. Мухин, Константин Никифорович. Экспериментальная ядерная физика : учебник : [в 3 т.]. Т. 1. Физика атомного ядра / К. Н. Мухин .— Изд. 7-е, стер. — Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009 .— 384 с. : ил. ; 21 см. — ISBN 978-5-8114-0739-2.
9. Мухин, Константин Никифорович. Экспериментальная ядерная физика : учебник : [в 3 т.]. Т. 2. Физика ядерных реакций / К. Н. Мухин .— Изд. 7-е, стер. — Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009 .— 336 с. : ил. ; 21 см.— ISBN 978-5-8114-0740-8.
10. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. Учебное пособие / Бартоломей Г.Г., Бать Г.А., Байбаков В.Д., Алхутов М.С. М: Энергоиздат, 1989. - 512 с.
11. Новиков, Иван Иванович. Термодинамика : учеб. пособие / И. И. Новиков .— Изд. 2-е, испр. — Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009 .— 589, [3] с. : ил. ; 21 см .— (Учебники для вузов, Специальная литература) .— Предм. указ.: с. 586-587. — без грифа .— ISBN 9785811409877.
12. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила СанПиН 2.6.1.2523-09. М: Минздрав России, 2009. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/56/56325/>
13. НП-001-2015. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Общие положения обеспечения безопасности атомных станций". – М.: ФБУ НТЦ ЯРБ, 2016. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293756/4293756900.htm>
14. Основные санитарные нормы обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010 (санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. М: Минздрав России, 2010. Режим доступа <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293816/4293816468.htm>
15. Телегин, Александр Семенович. Тепломассоперенос : учебник для вузов / А. С. Телегин, В. С. Швыдкий, Ю. Г. Ярошенко ; под ред. Ю. Г. Ярошенко .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Академкнига, 2002 .— 455 с. : ил. ; 22 см .— Библиогр.: с. 455 (4 назв.) .— ISBN 5-946280-20-1 : 270.00.

6. Рекомендуемые Интернет-ресурсы

- Nuclear power. Портал учебных материалов по ядерной энергетике (англоязычный). Режим доступа: <https://www.nuclear-power.net/>
- Электронная библиотека «История Росатома». Режим доступа: <http://elib.biblioatom.ru/>
- Power Reactor Information System. Режим доступа: <https://pris.iaea.org/PRIS/>

Программу вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности
2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность
разработали:

Зав. кафедрой АСиВИЭ, д-р техн. наук, проф.


Щеклеин С.Е.
(подпись)

Доцент кафедры АСиВИЭ, к. техн. наук, доцент


Ташлыков О.Л.
(подпись)

Профессор кафедры АСиВИЭ, д-р. техн. наук, доцент


Велькин В.И.
(подпись)

Доцент кафедры технической физики, к. физ.-мат. н.,


Сутормина М.И.
(подпись)

Лист согласования

Директор Уральского энергетического института
(название института)



(подпись)

С. Ф. Сарапулов

Директор Физико-технического института
(название института)



(подпись)

В. Ю. Иванов