

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре
НИЦ «Курчатовский институт»
по научной специальности
2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный
цикл, радиационная безопасность

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Ядерные энергетические установки, топливный цикл,
радиационная безопасность»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» является формирование у аспирантов передовых научно обоснованных знаний в области ядерных энергетических установок для обеспечения перспектив развития атомной отрасли, а также для обеспечения безопасной эксплуатации действующих ядерных реакторов.

В специальной дисциплине рассмотрены общие вопросы применения ядерной энергии; современные и перспективные ядерные энергетические установки; основы проектирования и конструирования ядерных энергетических установок; материалы в реакторостроении; сооружение, монтаж и эксплуатация ядерных энергетических установок, а также управление сроком службы ядерных энергетических установок.

Данная дисциплина участвует в формировании компетенций:

1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

2) овладение научно-обоснованной методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности, а также способностью самостоятельно проводить научные исследования в области ядерных энергетических установок, топливного цикла, радиационной безопасности и применять полученные результаты для решения практических задач.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров

Дисциплина «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и

научно-педагогических кадров для научной специальности 2.4.9. «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на втором году обучения (в третьем и четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 144 часа (4 зачетные единицы), из которых 72 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 72 часа. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

2) способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;

3) владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;

4) владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;

5) способность самостоятельно проводить научные исследования в области ядерных энергетических установок, топливного цикла, радиационной безопасности и применять полученные результаты для

решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

- 1) основные виды ЯЭУ;
- 2) особенности проектирования и сооружения ядерных энергетических установок;
- 3) основы ядерной и нейтронной физики;
- 4) топливный цикл ядерной энергетики;
- 5) экологическая и радиационная безопасность;
- 6) прочность оборудования ядерных энергетических установок;
- 7) анализ аварий. Проектные и запроектные аварии;
- 8) основные радиационные эффекты в материалах ЯЭУ;
- 9) условия работы и критерии выбора материалов ЯЭУ;
- 10) жизненный цикл ядерной энергетической установки и принципы управления сроком службы;

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

- 1) проводить необходимые эксперименты;
- 2) получать результаты, их обрабатывать и анализировать в рамках изучаемого метода;
- 3) использовать полученные результаты в практических целях для разработки новых материалов, явлений и процессов в них, при конструировании ЯЭУ, анализе проектных и запроектных аварий;

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

- 1) основными методами расчета нейтронного цикла, тепловых и гидравлических процессов, прочности оборудования ЯЭУ;
- 2) современными аналитическими методами исследования материалов ЯЭУ;
- 3) методами обращения с радиоактивными отходами на АЭС.

4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины

4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	144
Аудиторные занятия (всего)	72
В том числе:	
Лекции (Л)	36
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	36
Самостоятельная работа (СР)	72
В том числе*:	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

* - приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

4.2. Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	Общие вопросы применения ядерной энергии	6	2	2	2
2	Основы проектирования и конструирования ядерных энергетических установок	30	8	8	14
3	Ядерные энергетические установки	30	8	8	14
4	Материалы в реакторостроении	30	6	6	18
5	Эксплуатация ядерных энергетических установок	30	8	8	14
6	Управление сроком службы ядерных энергетических установок	8	2	2	4
7	Защита от ионизирующих излучений	10	2	2	6
Всего		144	36	36	72

4.2.1 Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	2	Ядерная энергетика в энергетическом балансе. Энергетический баланс и к.п.д. ядерных энергетических установок. Требования к энергетическим технологиям. Перспективы развития ядерной энергетики. Топливный цикл ядерной энергетики. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла. Экологическая и радиационная безопасность
2	2	Кинетика реактора. Роль запаздывающих нейтронов. Критическое и подкритическое состояние реактора. Динамические характеристики, обратные связи, устойчивость и способы регулирования реактора
2	2	Источники ионизирующих излучений в ядерных энергетических установках. Система теплоносителя как источник излучений. Закономерности ослабления ионизирующих излучений в веществе. Радиационное повреждение реакторных материалов
2	2	Основные принципы и критерии обеспечения безопасности. Нормативно-регулирующие документы, в том числе НП-001-15 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций». Принципы защиты в глубину. Уровни глубоко эшелонированной защиты. Фундаментальные функции безопасности. Принцип единичного отказа. Критерии и условия обеспечения безопасной эксплуатации
2	2	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
3	2	Атомные станции. Типы атомных станций. Основные компоненты и системы энергоблоков АЭС
3	2	Корпусные легководные реакторы с водой под давлением и кипящие. Развитие реакторов. Конструкции. Компоновка оборудования. Системы нормальной эксплуатации. Системы безопасности
3	2	Реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Принципы конструкций реакторов-бридеров. Параметры воспроизводства ядерного топлива. Развитие реакторов. Корпус реактора и внутрикорпусные устройства. Активная зона и зона воспроизводства. Технические средства обеспечения безопасности.

		Компоновка оборудования
3	2	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
4	2	Условия работы материалов ЯЭУ и критерии выбора. Взаимодействие излучения с твердым телом. Конструкционные материалы корпусов реакторов, ВКУ, материалы ТВЭЛов и ТВС, графит, ядерное топливо
4	2	Методы оценки работоспособности реакторов. Программа образцов-свидетелей. Механизмы радиационного охрупчивания сталей корпусов реакторов. Особенности охрупчивания материалов корпусов реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000
4	2	Методы диагностики структурно-фазового состояния и свойств облученных материалов КР, ВКУ, оболочек твэлов. Оборудование для исследования состояния и свойств облученных материалов. Технология продления срока службы КР, ускоренное облучение, проведение восстановительного отжига, разработка новых радиационно-стойких материалов
5	4	Организация и контроль эксплуатации. Установление и корректировка пределов и условий безопасной эксплуатации. Регламентация эксплуатации. Техническое обслуживание и ремонт
5	4	Показатели работы АЭС. Система ведомственного контроля за эксплуатацией. Федеральный надзор за безопасностью
6	2	Жизненный цикл ядерной энергетической установки и принципы управления сроком службы. Продление срока службы. Вывод из эксплуатации
7	2	Классификация источников излучений. Классификация защит от излучений. Активность радионуклида. Дозиметрические характеристики поля излучений

4.2.2 Содержание семинаров и (или) практических занятий

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	2	Экономические аспекты использования ядерной энергии. Составляющие издержек производства электроэнергии на АЭС. Снятие АЭС с эксплуатации. Экономические

		последствия тяжелых аварий. Социальные аспекты развития ядерной энергетики
2	2	Баланс нейтронов в размножающих средах. Формула 4-х сомножителей. Геометрический и материальный параметр среды, условие критичности
2	2	Теплогидравлический расчет активных зон, охлаждаемых однофазным, двухфазным водным, жидкометаллическим, газовым теплоносителем
2	2	Расчет на прочность при сейсмических воздействиях. Испытания натурального оборудования и модельных образцов
2	2	Программные комплексы для нейтронно-физических расчетов, проектных и эксплуатационных расчетов динамики и безопасности, радиационной защиты, расчетного обоснования прочности, моделирования тяжелых аварий и их последствий
3	2	Теплоносители ядерных реакторов. Требования, особенности применения. Водно-химические режимы первого (второго) контура. Технологии жидкометаллических, органических, газовых теплоносителей
3	2	Канальные водографитовые и тяжеловодные реакторы. Развитие канальных реакторов. Металлоконструкции. Активная зона. Контур многократной принудительной циркуляции. Системы нормальной эксплуатации и системы безопасности. Канальные тяжеловодные реакторы
3	2	Исследовательские реакторы. Физические и конструктивные особенности. Экспериментальные устройства исследовательских реакторов. Стационарные и учебно-исследовательские реакторы
3	2	Работа исследовательского реактора ИР-8 НИЦ «Курчатовский институт»
4	2	Методика определения прочностных характеристик с использованием испытаний на статическое растяжение и ударный изгиб в испытательной лаборатории на машинах Zwick/Roell Z100 и маятниковом копре КР-450
4	2	Методика определения плотности и размеров радиационно-индуцированных структурных составляющих методами ПЭМ и АЗТ. Практическое занятие в лаборатории электронной микроскопии на приборах FEI Titan 80-300 и Cameca LEAP 4000 HR
4	2	Методика определения уровня зернограницных сегрегаций методами оже-электронной спектроскопии и фрактографического анализа. Практическое занятие на оже-спектрометре Auger Nanoprobe 700, PHI-Ulvac и Zeiss

		Supra-40 VP
5	4	Методы эксплуатационной и оперативной диагностики за состоянием металла и оборудования, трубопроводов АЭС. Периодичность эксплуатационного контроля. Системы оперативной диагностики
5	4	Тренажеры для персонала АЭС. Технологические основы разработки. Полномасштабные и аналитические тренажеры
6	2	Транспортировка и хранение топлива. Удаление радиоактивных отходов высокой и средней активности. Дезактивация оборудования. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами
7	2	Физические величины и их единицы в области радиационной безопасности

5. Образовательные технологии

1. При реализации специальной дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа, самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

№ Темы	Всего часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Литература
1	2	3	4
1	2	Проблема нераспространения ядерных материалов. МАГАТЭ и системы международных гарантий. Технические проблемы нераспространения ядерных материалов	Белая книга ядерной энергетики / Министерство Российской Федерации по атомной энергии; Адамов Е.О., Большов, Л.А., Ганев И.Х. и др. – М.: Изд-во ГУП НИКИЭТ, 1998, 2001. – 270 с.
2	2	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	1. Ганев И.Х. Физика и расчет реактора. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 496 с. 2. Прайс, Вильям Джон. Регистрация ядерного излучения / Пер. с англ. В.Н. Гинзбурга и Н.Г. Зелевинской; Под ред. Б.И. Верховского. – Москва: Изд-во иностр. лит., 1960. – 464 с. 3. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
2	2	Источники и методы регистрации нейтронов, экспериментальные методы измерения сечений нейтронных реакций, размножающих свойств среды и нуклидного состава	1. Рябева Е.В. Часть 1. Источники нейтронов. Прикладная нейтронная физика. учеб. пособие / Е.В. Рябева, Д.И. Юрков. – М.: Буки Веди, 2021. – 196 с. 2. Севастьянов В.Д.

		топлива	<p>Характеристики полей нейтронов. Источники мгновенных нейтронов деления, генераторы 14 МэВ нейтронов, исследовательские и энергетические реакторы, устройства, конвертирующие нейтронное излучение. справочник / В.Д. Севастьянов, А.С. Кошелев, Г.Н. Маслов. – Изд-во: ВНИИФТРИ, 2007. – 653 с.</p> <p>3. Власов Н.А. Нейтроны / Под ред. акад. П. И. Лукирского. – Москва: Гостехиздат, 1955. – 427 с.</p>
2	2	Эффекты реактивности. Выгорание и воспроизводство ядерного топлива. Условия и возможности расширенного воспроизводства. Перегрузки топлива. Ядерная безопасность	<p>Ганев И.Х. Физика и расчет реактора. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 496 с.</p>
2	2	Тепловые и гидравлические процессы в ядерных энергетических установках. Особенности контура отвода тепла. Кризис теплообмена. Запасы до кризиса. Максимальные температуры оболочки и топлива. Нестационарные процессы в переходных и аварийных режимах. Термогидравлика основных проектных аварий	<p>1. Ядерные энергетические установки: Учеб. пособие для вузов / Б.Г. Ганчев, Л.Л. Калишевский, Р.С. Демешев и др. / Под общ. ред. Н.А. Доллежала. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 629 с.</p> <p>2. Кириллов П.Л. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: учебное пособие / П.Л. Кириллов, Г.П. Богословская. – 2-е изд., перераб. – Москва: ИзДАТ, 2008. – 254 с.</p>

			<p>3. Прайс, Вильям Джон. Регистрация ядерного излучения / Пер. с англ. В.Н. Гинзбурга и Н.Г. Зелевинской; Под ред. Б.И. Верховского. – Москва: Изд-во иностр. лит., 1960. – 464 с.</p> <p>4. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.</p>
2	2	Прочность оборудования и трубопроводов ядерных энергетических установок. Статическая прочность. Устойчивость. Циклическая прочность. Хрупкая прочность. Вибропрочность	Сапунов В.Т. Ч.2. Расчеты трубопроводов ЯЭУ. Прочность поврежденных трубопроводов / В. Т. Сапунов. – М.: МИФИ, 2000. – 116 с.
2	2	Контроль, управление и защита ядерных энергетических установок. Системы контроля нейтронно-физических и теплотехнических параметров. Безопасность и проблема управления. Защиты по уровню мощности и разгону	<p>1. Системы внутриреакторного контроля АЭС с реакторами ВВЭР / В.А. Брагин, И.В. Батенин, М.Н. Голованов и др. / под ред. Г.Л. Левин. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 127 с.</p> <p>2. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений. / П.В. Новицкий, И.А. Зограф / – 2 -е изд., перераб. и доп. – Л.: Издательство Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1991. – 304 с.</p>
2	2	Управляющие системы нормальной эксплуатации и безопасности ЯЭУ. Взаимодействие «человек-машина»	Бахметьев А.М. Основы безопасности ядерных энергетических установок: учеб. пособие / А.М. Бахметьев; под ред. С. М.

			Дмитриева; Нижегородский гос. технический университет. – Н. Новгород, 2006. – 173 с.
3	2	Судовые и космические ядерные энергетические установки. Передвижные и блочно-транспортабельные ядерные энергетические установки	<p>1. Кухаркин Н.Е. Космическая ядерная энергетика с термоэлектрическим и термоэмиссионным (ядерные реакторы с термоэлектрическим преобразованием «Ромашка» и «Енисей») / Н.Е. Кухаркин, Н.Н. Пономарев-Степной, В.А. Усов; ред. Н.Н. Пономарев-Степной. – М.: ИздАт, 2008. – 146 с.</p> <p>2. Кузнецов В.А. Судовые ядерные энергетические установки: Конструкция и особенности эксплуатации: Учеб. для судомех. спец. высш. инж. мор. уч-щ / В.А. Кузнецов. – Л.: Судостроение, 1989. – 253 с.</p> <p>3. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет: К.Ф. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. М38 Машиностроение ядерной техники. Т. IV-25. В 2-х кн. Кн.2 / Е.О. Адамов, П.В. Андреев, С.А. Антипов А.И. Аржаев и др.; Под общ. ред. Е.О. Адамова. 2005. – 944 с.</p>
3	2	Органы регулирования ядерных реакторов. Назначение, состав, конструкции и функциональное использование. Особенности органов регулирования реакторов различных типов.	Будов В.М. Конструирование основного оборудования АЭС: Учеб. пособие для инж.-физ. и энерг. спец. вузов / В.М. Будов, В.А. Фарафонов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 264 с.

		Использование жидких, газообразных и сыпучих поглотителей	
3	2	Реакторы, охлаждаемые газом	Глушков Е.С. Разработка быстрых газоохлаждаемых реакторов в России / Е.С. Глушков, Н.Н. Пономарев-Степной, П.А. Фомиченко; ред. Н. Н. Пономарев-Степной. – М.: ИздАт, 2008. – 106 с.
3	2	Активные зоны из шаровых, стержневых ТВЭЛов и призматических блоков	Самойлов А.Г. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: Для студентов вузов / А.Г. Самойлов, В.С. Волков, М.И. Солонин. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 399 с.
3	2	Теплообменное оборудование реакторных установок. Насосы ядерных энергетических установок. Основные понятия	Ядерные энергетические установки: Учеб. пособие для вузов / Б.Г. Ганчев, Л.Л. Калишевский, Р.С. Демешев и др. / Под общ. ред. Н.А. Доллежала. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 629 с.
3	2	Системы перегрузки топлива. Способы перегрузки. Хранилища отработавшего ядерного топлива. Транспортно-технологическое оборудование. Перегрузочные устройства	Ядерные энергетические установки: Учеб. пособие для вузов / Б.Г. Ганчев, Л.Л. Калишевский, Р.С. Демешев и др. / Под общ. ред. Н.А. Доллежала. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 629 с.
3	2	Трубопроводы, регулирующая арматура, гидроамортизаторы. Основные понятия	Ядерные энергетические установки: Учеб. пособие для вузов / Б.Г. Ганчев, Л.Л. Калишевский, Р.С. Демешев и др. / Под общ. ред. Н.А. Доллежала. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:

			Энергоатомиздат, 1990 – 629 с.
4	6	Опережающий прогноз радиационного охрупчивания материалов. Факторы, влияющие на эффект флакса	Материаловедение сталей корпусов водо-водяных реакторов: учебное пособие / Е.А. Кулешова, Б.А. Гурович, С.В. Федотова, К.Е. Приходько – Москва: Изд-во НИЦ «Курчатовский институт», 2021. – 98 с.
4	6	Тепловыделяющие элементы и ТВС ядерных реакторов	Самойлов А.Г. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: Для студентов вузов / А.Г. Самойлов, В.С. Волков, М.И. Солонин. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 399 с.
4	6	Материалы ВКУ водо-водяных реакторов	Бескоровайный Н.М. Конструкционные материалы и жидкометаллические теплоносители / Н.М. Бескоровайный А.Г. Иолтуховский. – М.: Энергоатомиздаг, 1983. – 163 с.
5	4	Регламентация действий при авариях и в аварийных ситуациях	Безопасность ядерных энергетических установок: Учеб. пособие для вузов по спец. «Атом. электростанции и установки» / О.Б. Самойлов, А.М. Бахметьев, Г.Б. Усынин. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 278 с.
5	4	Дезактивация технологического оборудования, зданий и сооружений. Основные методы и организация дезактивации	1. Крицкий В.Г. Основы дезактивации. Способы и технические средства дезактивации. Дезактивация объектов ядерного топливного цикла / В.Г. Крицкий, Ю.А. Родионов. –

			<p>Санкт-Петербург: ООО «КСИ-Принт», 2013. – 464 с.</p> <p>2. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет: К.Ф. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. М38 Машиностроение ядерной техники. Т. IV-25. В 2-х кн. Кн.2 / Е.О. Адамов, П.В. Андреев, С.А. Антипов А.И. Аржаев и др.; Под общ. ред. Е.О. Адамова. 2005. – 944 с.</p>
5	6	<p>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</p>	<p>1. Скачек М.А. Радиоактивные компоненты АЭС: обращение, переработка, локализация. учебное пособие для вузов / М.А. Скачек. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 551 с.</p> <p>2. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет: К.Ф. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. М38 Машиностроение ядерной техники. Т. IV-25. В 2-х кн. Кн.2 / Е.О. Адамов, П.В. Андреев, С.А. Антипов А.И. Аржаев и др.; Под общ. ред. Е.О. Адамова. 2005. – 944 с.</p>
6	4	<p>Радиоактивные материалы при снятии с эксплуатации ядерных энергетических установок</p>	<p>Острейковский, В.А. Влияние старения оборудования на срок службы и безопасность атомных станций: Учеб. пособие по курсам «Надежность и безопасность атом. станций» и «Теория безопасности атом. станций» / Обнин. ин-т атом. энергетики, Фак. кибернетика. – Обнинск: ИАТЭ, 1992. – 119 с.: ил. - Библиогр.: с. 115 – 117 (22</p>

			назв.)
7	6	Принципы нормирования радиационного облучения. Категории облучаемых лиц и группы критических органов. Дозовые пределы облучения и допустимые уровни. Особенности защиты от фотонного, нейтронного α - и β -излучений. Альбеда излучений	Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.

Текущий контроль (промежуточный) проводится на 7 и 14 неделе в форме контрольной работы с оценкой по пятибалльной системе. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Примеры контрольных вопросов:

1. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла.
2. Закон и характеристики радиоактивного распада.
3. Источники ионизирующих излучений в ядерных энергетических установках.
4. Системы контроля нейтронно-физических и теплотехнических параметров.
5. Критерии и условия обеспечения безопасной эксплуатации.
6. Физические принципы реакторов с естественной безопасностью.
7. Системы перегрузки топлива.
8. Кристаллическое строение, основные типы кристаллических решеток и их дефекты.

Для получения положительной оценки и для выполнения задания по самостоятельной работе аспиранту необходимо подготовить реферат по представленным или подобным темам объемом 15 – 20 страниц. Реферат должен быть написан самостоятельно и построен по типу статьи: краткая аннотация: 4 – 5 строк, введение (цели, задачи обзора, объект рассмотрения), основная часть (описание объекта или способа), заключение, литература. Обязательно предоставляется информация (ссылки на статьи и патенты)

об авторах, институтах, лабораториях, которые разрабатывали представленную тематику. Перспективы и прогноз дальнейших исследований. Возможное применение данных разработок.

Примеры тем предлагаемых докладов, рефератов:

1. Термоядерные реакторы. Гибридные системы синтеза-деления.
2. Теплоносители ядерных реакторов. Требования, особенности применения.
3. Социальные аспекты развития ядерной энергетики.
4. Кинетика реактора. Динамические характеристики, обратные связи, устойчивость и способы регулирования реактора.
5. Экспериментальные устройства исследовательских реакторов.
6. Влияние температуры облучения на склонность к радиационному охрупчиванию на примере сталей КР ВВЭР.
7. Физико-химические процессы, протекающие в ТВЭЛах и ТВС в условиях эксплуатации.
8. Нейтронная дозиметрия материалов корпусов реакторов.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры вопросов к экзамену:

1. Взаимодействие излучения с твердым телом. Первично выбитые атомы. Радиационные дефекты. Каскады атомных столкновений. Стоки точечных дефектов, аннигиляция.
2. Теплоносители ядерных реакторов. Требования, особенности применения.
3. Анализ аварий. Проектные и запроектные аварии. Управление аварией. Вероятностный анализ. Сценарии аварий на АЭС с реакторами ВВЭР, БН, РБМК.
4. Механизмы радиационного охрупчивания сталей корпусов реакторов. Критическая температура хрупкости. Схема Давиденкова-Иоффе.

5. Методы оценки работоспособности реакторов. Программа образцов-свидетелей. Программа вырезки темплетов.

6. Обращение с радиоактивными отходами на АЭС. Переработка радиоактивных отходов.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

I. Основная литература:

1. Бахметьев А.М. Основы безопасности ядерных энергетических установок: учеб. пособие / А.М. Бахметьев; под ред. С. М. Дмитриева; Нижегородский гос. технический университет. – Н. Новгород, 2006. – 173 с. ISBN 5-93272-350-5.

2. Безопасность ядерных энергетических установок: Учеб. пособие для вузов по спец. «Атом. электростанции и установки» / О.Б. Самойлов, А.М. Бахметьев, Г.Б. Усынин. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 278 с. – ISBN 5-283-03802-5.

3. Белая книга ядерной энергетики / Министерство Российской Федерации по атомной энергии; Адамов Е.О., Большов, Л.А., Ганев И.Х. и др. – М.: Изд-во ГУП НИКИЭТ, 1998, 2001. – 270 с. – ISBN 978-5-98706-129-9.

4. Бескорвайный Н.М. Конструкционные материалы и жидкометаллические теплоносители / Н.М. Бескорвайный А.Г. Иолтуховский. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 163 с.

5. Будов В.М. Конструирование основного оборудования АЭС: Учеб. пособие для инж.-физ. и энерг. спец. вузов / В.М. Будов, В.А. Фарафонов. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 264 с.

6. Власов Н.А. Нейтроны / Под ред. акад. П. И. Лукирского. – Москва: Гостехиздат, 1955. – 427 с.

7. Ганев И.Х. Физика и расчет реактора. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 496 с. – ISBN 5-283-03820-3.

8. Глушков Е.С. Разработка быстрых газоохлаждаемых реакторов в России / Е.С. Глушков, Н.Н. Пономарев-Степной, П.А. Фомиченко; ред. Н. Н. Пономарев-Степной. - М.: ИздАт, 2008. – 106 с. – ISBN 978-5-86656-236-7/

9. Кириллов П.Л. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: учебное пособие / П.Л. Кириллов, Г.П. Богословская. – 2-е изд., перераб. – Москва: ИздАТ, 2008. – 254 с.

10. Крицкий В.Г. Основы дезактивации. Способы и технические средства дезактивации. Дезактивация объектов ядерного топливного цикла / В.Г. Крицкий, Ю.А. Родионов. – Санкт-Петербург: ООО «КСИ-Принт», 2013. – 464 с.

11. Кузнецов В.А. Судовые ядерные энергетические установки: Конструкция и особенности эксплуатации: Учеб. для судомех. спец. высш. инж. мор. уч-щ / В.А. Кузнецов. – Л.: Судостроение, 1989. – 253 с.

12. Кухаркин Н.Е. Космическая ядерная энергетика с термоэлектрическим и термоэмиссионным (ядерные реакторы с термоэлектрическим преобразованием «Ромашка» и «Енисей») / Н.Е. Кухаркин, Н.Н. Пономарев-Степной, В.А. Усов; ред. Н.Н. Пономарев-Степной. – М.: ИздАт, 2008. – 146 с.

13. Материаловедение сталей корпусов водо-водяных реакторов: учебное пособие / Е.А. Кулешова, Б.А. Гурович, С.В. Федотова, К.Е. Приходько – Москва: Изд-во НИЦ «Курчатовский институт», 2021. – 98 с.

14. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет: К.Ф. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. М38 Машиностроение ядерной техники. Т. IV-25. В 2-х кн. Кн.2 / Е.О. Адамов, П.В. Андреев, С.А. Антипов А.И. Аржаев и др.; Под общ. ред. Е.О. Адамова. 2005. – 944 с.

15. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.

16. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений. / П.В. Новицкий, И.А. Зограф / – 2 -е изд., перераб. и доп. – Л.: Издательство Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1991. – 304 с.

17. Острейковский, В.А. Влияние старения оборудования на срок службы и безопасность атомных станций: Учеб. пособие по курсам «Надежность и безопасность атом. станций» и «Теория безопасности атом. станций» / Обнин. ин-т атом. энергетики, Фак. кибернетика. - Обнинск: ИАТЭ, 1992. - 119 с.: ил. - Библиогр.: с. 115-117 (22 назв.)

18. Прайс, Вильям Джон. Регистрация ядерного излучения / Пер. с англ. В.Н. Гинзбурга и Н.Г. Зелевинской; Под ред. Б.И. Верховского. – Москва: Изд-во иностр. лит., 1960. – 464 с.

19. Практические основы разработки и обоснования технических характеристик и безопасности эксплуатации реакторных установок типа ВВЭР. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2015. – 480 с.

20. Радиационно-индуцированная деградация структуры конструкционных материалов водо-водяных реакторов: учебное пособие / Е.А. Кулешова, Б.А. Гурович, С.В. Федотова и др. – Москва: Изд-во НИЦ «Курчатовский институт», 2022. – 460 с.

21. Рябева Е.В. Часть 1. Источники нейтронов. Прикладная нейтронная физика. учеб. пособие / Е.В. Рябева, Д.И. Юрков. – М.: Буки Веди, 2021. – 196 с.

22. Самойлов А.Г. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: Для студентов вузов / А.Г. Самойлов, В.С. Волков, М.И. Солонин. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 399 с.

23. Сапунов В.Т. Ч.2. Расчеты трубопроводов ЯЭУ. Прочность поврежденных трубопроводов / В. Т. Сапунов. – М.: МИФИ, 2000. – 116 с.

24. Севастьянов В.Д. Характеристики полей нейтронов. Источники мгновенных нейтронов деления, генераторы 14 МэВ нейтронов, исследовательские и энергетические реакторы, устройства, конвертирующие

нейтронное излучение. справочник / В.Д. Севастьянов, А.С. Кошелев, Г.Н. Маслов. – Изд-во: ВНИИФТРИ, 2007. – 653 с.

25. Системы внутриреакторного контроля АЭС с реакторами ВВЭР / В.А. Брагин, И.В. Батенин, М.Н. Голованов и др. / под ред. Г.Л. Левин. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 127 с.

26. Скачек М.А. Радиоактивные компоненты АЭС: обращение, переработка, локализация. учебное пособие для вузов / М.А. Скачек. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 551 с.

27. Ядерные энергетические установки: Учеб. пособие для вузов / Б.Г. Ганчев, Л.Л. Калишевский, Р.С. Демешев и др. / Под общ. ред. Н.А. Доллежала. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 629 с.

II. Дополнительная литература:

1. Ковалевич О.М. Основы обеспечения безопасности атомных станций. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 136 с.

2. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – 336 с.

3. Кокорев Б.А. Парогенераторы ядерных энергетических установок с жидкометаллическим охлаждением / Б.А. Кокорев, В.А. Фарафонов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 264 с.

4. Крицкий В.Г. Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС. – СПб.: Изд-во «Синто», 1996. – 264 с.

5. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции. Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Атомная техника», 1994. – 289 с.

6. Марков Ю.В. Введение в разработки и обоснования технических характеристик и безопасности эксплуатации реакторных установок типа ВВЭР / Ю.В. Марков. В.А. Сидоренко. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2013. – 176 с.

7. Методические особенности фрактографических и оже-электронных спектральных исследований механизмов хрупкого разрушения теплостойких

сталей с о.ц.к.-решеткой: учебное пособие / Е.А. Кулешова, С.В. Федотова, Д.А. Мальцев и др. – Москва: Изд-во НИЦ «Курчатовский институт», 2021. – 116 с.

8. Методы исследования наноразмерных выделений в реакторных материалах с использованием трансмиссионной электронной микроскопии и атомно-зондовой томографии: учебное пособие / Е.А. Кулешова, Б.А. Гурович, А.С. Фролов и др. – Москва: Изд-во НИЦ «Курчатовский институт», 2021. – 128 с.

9. Новиков В.М. Ядерные реакторы повышенной безопасности (анализ концептуальных разработок) / В.М. Новиков, И.С. Слесарев, Алексеев П.Н. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 384 с.

10. НП-001-15 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций».

11. НП-026-16 «Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций».

12. Острейковский В.А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ / В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев. – М.: Физматлит, 2008. – 349 с.

13. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных электростанций / В.А. Острейковский. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 928 с.

14. Т. 6. Конструкционные материалы ядерной техники. Физическое материаловедение. в 8-ми т. 3-е изд., перераб. / Б.А. Калинин, П.А. Платонов, Ю.В. Тузов и др. – М.: НИЯУ МИФИ, 2021. – 733 с.

15. Т. 7. Ядерные топливные материалы. Физическое материаловедение. в 8-ми т. 3-е изд., перераб. / В.Г. Баранов, Ю.Г. Годин, А.В. Тенишев и др. – М.: НИЯУ МИФИ, 2021. – 640 с.

16. Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000 / С.А. Тевлин. – М.: Изд-во МЭИ, 2008. – 358 с.

17. Тимонин А.С. Разработка оборудования для АЭС / А.С. Тимонин. – М.: Издательство Космоскоп, 2013. – 528 с.

18. Трунов Н.Б. Гидродинамические и теплехимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР / Н.Б. Трунов, С.А. Логвинов, Ю.Г. Драгунов. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 316 с.

19. Федоров Л.Ф. Парогенераторы атомных электростанций / Л.Ф. Федоров, В.Ф. Титов, Н.Г. Рассохин. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 412 с.

20. Шевелев Я.В. Эффективная экономика ядерного топливно-энергетического комплекса / Я.В. Шевелев, А.В. Клименко. – Изд-во РГТУ, 1996. – 736 с.

21. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. / Н.С. Бабаев, В.Ф. Демин, Л.А. Ильин и др. / Под ред. акад. Александрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 311 с.

III. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Словари и энциклопедии на Академике: [сайт]. – URL: <https://dal.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/695372> (дата обращения: 28.06.2022).

IV. Доступ к электронным библиотекам:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Электронная библиотека Платонанет: [сайт]. – URL: https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/2 (дата обращения: 28.06.2022).

3. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

5. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

6. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

7. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.sci-lib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

8. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

9. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

10. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата обращения: 12.08.2022).

11. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

12. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

V. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. – URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. – URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect: [сайт]. – URL: <http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm>

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer_Nature: [сайт]. – URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементоорганических соединений (800 000 структур, он-лайн и офф-лайн версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

VI. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).

8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).

9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).

10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).

11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).

12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).

13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и свободный доступ

к библиотеке периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).

2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.

3. На всех аудиторных занятиях используются средства визуализации учебного материала: мультимедийное оборудование (проектор, ноутбук, экран, презентер), презентации лекций.