

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ПОВЕДЕНИЕ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ В КОНТУРАХ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И
ПОМЕЩЕНИЯХ АЭС

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	5	180	16	32	0		96	0	Э
Итого	5	180	16	32	0	16	96	0	

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы моделирования физико-химического поведения продуктов деления в контурах с теплоносителем и помещениях РУ с различными типами теплоносителя при аварии, включая: выход ПД и образование аэрозолей в первом контуре при разгерметизации твэлов, выход паров и аэрозолей ПД в помещения ЗО, аэрозольные процессы в атмосфере ЗО, радиационная активность паров и аэрозолей ПД, системы безопасности и их влияние на состояние ПД в ЗО, выход радионуклидов в окружающую среду. Проводится обучение работе с кодом HYDRA-IBRAE/LM/E1.0 с включенным аэрозольным модулем.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является подготовка студентов к решению задач, связанных с радиационной безопасностью современных и перспективных ядерных энергетических установок. Изучается ряд вопросов, составляющих базу для анализа и численного моделирования поведения продуктов деления в контурах с теплоносителем, помещениях ЯЭУ и в окружающей среде.

Среди задач курса:

- Изучение основных причин и источников появления продуктов деления в теплоносителе и помещениях станции для различных типов реакторов.
- Изучение механизмов поведения продуктов деления в теплоносителе в жидкой и паровой фазах и в парогазовой среде помещений станции, ознакомление с соответствующими моделями современных расчетных кодов, методами решения уравнений парогазовой и аэрозольной кинетики, принципов разработки программных кодов (языки C++, Фортран).
- Изучение возможных источников выброса и механизмов поведения продуктов деления в газовой и аэрозольной фазах в окружающей среде, ознакомление с соответствующими моделями и методами решения уравнений в составе расчетных кодов.
- Ознакомление с системами безопасности и их влиянием на состав и концентрацию продуктов деления в атмосфере помещений станции для современных и перспективных ЯЭУ.
- Формирование способности у студентов применять полученные знания к решению практических задач, связанных с разработкой моделей и расчетных кодов в части поведения продуктов деления в атмосфере помещений ЯЭУ и окружающей среде.
- Обучение студентов умениям применять полученные знания в производственной и научной деятельности, приобретение навыков работы с научной, справочной и электронной литературой, применению современных компьютерных технологий при подготовке домашних заданий.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Учебная программа соответствует требованиям образовательного стандарта высшего образования национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению 14.04.02 - Ядерные физика и технологии, «Профессиональный модуль».

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УКЦ-1 [1] – Способен решать исследовательские, научно-технические и производственные задачи в условиях неопределенности, в том числе выстраивать деловую коммуникацию и организовывать работу команды с использованием цифровых ресурсов и технологий в цифровой среде	З-УКЦ-1 [1] – Знать современные цифровые технологии, используемые для выстраивания деловой коммуникации и организации индивидуальной и командной работы У-УКЦ-1 [1] – Уметь подбирать наиболее релевантные цифровые решения для достижения поставленных целей и задач, в том числе в условиях неопределенности В-УКЦ-1 [1] – Владеть навыками решения исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием цифровых технологий
УКЦ-2 [1] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования	З-УКЦ-2 [1] – Знать основные цифровые платформы, технологи и интернет ресурсы используемые при онлайн обучении У-УКЦ-2 [1] – Уметь использовать различные цифровые технологии для организации обучения В-УКЦ-2 [1] – Владеть навыками самообучения, самоактуализации и саморазвития с использованием различных цифровых технологий

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
инновационный			
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа	ПК-6.2 [1] - Способен выбирать критерии безопасной работы и применять методы обоснования безопасности для количественных оценок эффективности функционирования и обоснования безопасности объектов использования атомной энергии. <i>Основание:</i>	З-ПК-6.2[1] - Знать основные теплогидравлические и нейтронно-физические процессы, протекающие в быстрых реакторах; основные принципы и критерии обеспечения безопасности ядерных энергетических установок и объектов замкнутого ядерного топливного цикла.; У-ПК-6.2[1] - Уметь

атомной энергии.	безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	Профессиональный стандарт: 24.078	применять полученные знания к решению практических задач связанных с проектированием и эксплуатацией быстрых реакторов и объектов замкнутого ядерного топливного цикла.; В-ПК-6.2[1] - Владеть методами инженерных расчетов обоснования радиационной безопасности.
------------------	---	-----------------------------------	---

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>3 Семестр</i>						
1	Тема 1. Поведение ПД в первом контуре РУ.	1-8	8/16/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Тема 2. Поведение ПД в 3О и помещениях АЭС.	9-16	8/16/0	КИ-16 (25)	25	КИ-16	3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э	3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1,

							В-УКЦ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
--	--	--	--	--	--	--	---

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
1-8	Тема 1. Поведение ПД в первом контуре РУ.	8	16	0
1 - 8	Тема 1. Поведение ПД в первом контуре РУ. Лекция 1. Выход ПД в теплоноситель. Схемы РУ с различными типами теплоносителя. Накопление ПД в топливе и газовом зазоре твэла. Выход ПД из негерметичного твэла в теплоноситель первого контура. Модели для расчета выхода ПД в теплоноситель. Программная реализация модуля RealGap в составе теплогидравлического кода. Состав и химическая форма основных радионуклидов для РУ различного типа. Классификация проектных и запроектных аварий. Лекция 2. Поведение ПД в первом контуре РУ. Общая схема первого контура для РУ различного типа. Ожидаемый состав и химическая форма радионуклидов в первом контуре для различных типов РУ. Основные процессы и особенности поведения радионуклидов в жидкофазном теплоносителе: вода под давлением, жидкие металлы Na и Pb. Основные процессы и особенности поведения радионуклидов в перегретом водяном паре первого контура ВВЭР. Выход ПД из первого контура в ЗО и помещения РУ. Лекция 3. Моделирование поведения полидисперсных многокомпонентных частиц в жидкости и газе. Основные механизмы поведения радионуклидов. Образование твердых частиц растворенных примесей в жидкости и нуклеация аэрозолей в парогазовой среде. Коагуляция частиц. Различные механизмы коагуляции частиц в жидкости и газе. Кристаллизация растворенных примесей на частицах и поверхности. Конденсация паров на частицах и поверхности. Осаждение частиц на поверхность из потока теплоносителя. Различные	Всего аудиторных часов		
		8	16	0
		Онлайн		
		0	0	0

	механизмы осаждения частиц на поверхность. Уравнения математической модели для расчета поведения аэрозолей. Методы численного решения уравнений. Структура программного аэрозольного модуля AERMOD. Имплементация аэрозольного модуля в гидравлический код. Лекция 4. Химия ПД в теплоносителе первого контура. Особенности химии ПД в парогазовой среде первого контура ВВЭР при разгерметизации контура. Химия соединений йода, цезия и рутения. Радиоллиз парогазовой среды в первом контуре ВВЭР при высокой температуре теплоносителя. Образование летучего йода в парогазовой среде первого контура ВВЭР при разгерметизации контура. Уравнения химической кинетики. Методы численного решения уравнений и структура блока химической кинетики в модуле AEROMOD.			
9-16	Тема 2. Поведение ПД в ЗО и помещениях АЭС.	8	16	0
9 - 16	Тема 2. Поведение ПД в ЗО и помещениях АЭС. Лекция 5. Динамика аэрозолей ПД в атмосфере помещений РУ. Состав основных радионуклидов, химическая и фазовая форма соединений в источнике ПД из первого контура для РУ различного типа. Основные механизмы динамики аэрозолей ПД в ЗО. Коагуляция аэрозолей, конденсация паров ПД на многокомпонентных частицах, осаждение аэрозолей и конденсация паров ПД на поверхность стен. Образование многокомпонентных отложений ПД на поверхностях. Абсорбция водяного пара гигроскопическими аэрозолями. Системы безопасности. Модели и структура программного модуля AERCONT. Лекция 6. Распад радионуклидов. Изотопный состав основных радионуклидов. Цепочки распада. Условия радиоактивного равновесия. Особенности распада радионуклидов для компонентов атомарной и молекулярной форм. Распад радионуклидов в составе многокомпонентных аэрозолей. Моделирование распада в аэрозольном модуле. Доза и мощность дозы поглощенной энергии. Основные характеристики доз облучения, рассматриваемые в аэрозольном модуле AERCONT. Лекция 7. Радиоллиз в воде и влажном воздухе. Основные механизмы и особенности радиолиза для различных сред. Мощность дозы облучения в атмосфере ЗО. Радиационно-химический механизм образования летучего йода в системе элементов Cs-I-H-O. Выход летучего йода из воды приемка в атмосферу ЗО ВВЭР. Образование органического йода. Образование ионов и заряженных аэрозолей в атмосфере помещений РУ. Влияние радиолиза на динамику поведения ПД. Внедрение блока радиолиза в модуль AERCONT. Лекция 8. Бассейн выдержки. Основные особенности технологии БВ. Изменение активности отработавшего топлива в процессе долговременной выдержки. Основные	Всего аудиторных часов		
		8	16	0
		Онлайн		
		0	0	0

	источники выхода радионуклидов в водную среду БВ. Кристаллизация раствора борной кислоты в теплоносителе. Радиолиз и образование летучих соединений с йодом. Испарение воды с поверхности воды в бассейне и индуцированный выход ПД в газовый объем. Кипение воды на поверхности перегретых твэлов и выход ПД в газовый объем вместе с пузырьками пара.			
--	---	--	--	--

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1 - 8	Темы 1 1. Схемы РУ с различными типами теплоносителя. 2. Моделирование выхода ПД из твэла в теплоноситель. 3. Примеры и особенности аварий с выходом ПД в теплоноситель. 4. Особенности поведения ПД в первом контуре РУ при нормальном режиме работы. 5. Поведение аэрозолей ПД в перегретом паре первого контура ВВЭР при аварии. 6. Ионизация и ионная химия цезия в теплоносителе первого контура ВВЭР. 7. Основные механизмы динамики аэрозолей. 8. Модели и методы решения уравнений динамики аэрозолей. 9. Структура аэрозольного модуля AERMOD. 10. Особенности химии ПД в первом контуре ВВЭР при аварии. 11. Образование летучего йода. 12. Уравнения химической кинетики и методы их решения.
9 - 16	Темы 2 13. Коагуляция и конденсация многокомпонентных аэрозолей ПД. Методы расчета. 14. Абсорбция водяного пара гигроскопическими аэрозолями. Метод расчета. 15. Системы безопасности в ЗО ВВЭР и их влияние на поведение аэрозолей ПД. 16. Радиоактивный распад радионуклидов. Условие равновесия. 17. Особенности моделирования цепочек и распада изотопов в молекулах. 18. Моделирование распада изотопов в составе многокомпонентных аэрозолей. 19. Радиолиз в водной среде. Образование летучего йода. 20. Радиолиз влажного воздуха в атмосфере помещений РУ при аварии. 21. Образование ионов и заряженных аэрозолей в атмосфере помещений. 22. Кристаллизация борной кислоты в растворе воды БВ. 23. Выход ПД в газовый объем при испарении воды и с пузырьками при кипении. 24. Физико-химические процессы ПД в водном растворе БВ.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы курса используются различные образовательные технологии. Например, аудиторные занятия могут проводиться в интерактивных классах. Особое внимание студентов обращается на интернет ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. Для контроля усвоения студентами разделов данного курса используются тестовые технологии, то есть специальный банк вопросов в открытой и закрытой форме. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала, а также выполнение двух домашних заданий.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-6.2	З-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-16
УКЦ-1	З-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-16
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой,

			использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 64 Основы радиационной безопасности : , Акимов М. Н., Коннова Л. А., Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Е53 Физические основы автоматизированных систем радиационного контроля атомных электростанций : учебное пособие, Елохин А.П., Москва: НИЯУ МИФИ, 2019

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 55 Р18 Аэрозоли : Введению в теорию, Райст П., М.: Мир, 1987
2. 621.3 А99 АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 : От физических основ эксплуатации до эволюции проекта, Васильев Б.Ю. [и др.], Москва: ЛОГОС, 2010
3. 621.039 К 89 Безопасность АЭС с реакторами на быстрых нейтронах : монография, Поплавский В. М., Кузнецов И. А. , Москва: ИздАТ, 2012
4. ЭИ Б99 Основы радиационной химии Ч.1 Ранние радиолитические процессы, Бяков В.М., Москва: МИФИ, 2009
5. 621.039 Ч-57 Радиационная безопасности АЭС с быстрыми реакторами и натриевым теплоносителем : , Кизин В.Д., Чечеткин Ю.В., Поляков В.И., М.: Энергоатомиздат, 1983

6. 539.1 X17 Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика : , Хала И., Навратил Дж. Д., Москва: URSS, 2013

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Цель методических рекомендаций для студента – оптимизация процесса изучения данной дисциплины.

Материалы учебно-методического комплекса выдаются в электронном виде. Эти материалы не являются дословным изложением лекций и семинаров, а лишь их кратким содержанием. Они должны активно использоваться при подготовке к написанию тестов и экзамену.

Следует помнить, что в тестовые и экзаменационные вопросы не входит материал, который не был прочитан на лекциях или обсужден на семинарах. Тем не менее, для целей эффективного использования полученных знаний рекомендуется ознакомиться с интернет – ресурсами и литературой. В рекомендованной литературе, особенно выдаваемой в электронном виде, изучаемые вопросы рассматриваются более глубоко, их изучение повышает квалификацию будущего специалиста.

Задачи домашнего задания аналогичны рассматриваемым на семинарских занятиях, поэтому рекомендуется выполнять их последовательно по мере изучения материала на занятиях. Для выполнения домашнего задания рекомендуется использование систем символьной математики.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

оценке безопасности и моделированию поведения продуктов деления для перспективных ядерных энергетических установок на основе строгих научных методов. При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература. Знания, полученные студентами при изучении различных дисциплин, применяются к решению задач характерных для ядерных энергетических установок.

Чтение лекций и проведение семинарских занятий рекомендуется проводить в интерактивных классах. Сложные и многочисленные расчеты не должны затенять сути излагаемых методов, поэтому рекомендуется широко использовать системы символьной математики.

Особое внимание студентов следует обратить на интернет ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. В конце изучения курса рекомендуется выдать студентам использованные презентации в электронном виде.

Для закрепления теоретического материала дисциплина содержит большое количество задач для самостоятельного решения и контрольные вопросы (банк тестовых заданий) для проверки знаний. Для проверки и закрепления практических навыков студентам предлагается выполнить индивидуальные домашние задания.

Автор(ы):

Мосунова Настасья Александровна

Рецензент(ы):

Лаврухин А.А.