

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет атомной энергетики и технологий
Кафедра «Физика и естественнонаучные дисциплины»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине «Динамика ядерных реакторов»

Специальность
«14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»

Основная профессиональная образовательная программа
«Системы контроля и управления атомных станций»

Квалификация выпускника
Инженер-физик

Форма обучения
Очная

Цель освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины является овладение основами физической теории ядерных реакторов, основами физических расчетов реакторов различных типов с учетом их нейтронно-физических особенностей, а также методами экспериментального определения некоторых характеристик реакторных сред и установок.

Задачи изучения дисциплины:

- получение студентами знаний по основным вопросам физической теории ядерных реакторов (теория критических размеров, теория гетерогенного реактора, физика нестационарных процессов в ядерных реакторах),
- ознакомление с методами физического расчета ядерных реакторов разных типов, физического реакторного эксперимента.

Дисциплина изучается в соответствии с профессиональными стандартами:

- 24.032. Специалист в области теплоэнергетики (реакторное отделение);
- 24.033. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики атомной станции.

Место дисциплины в структуре ООП ВО

Изучение дисциплины «Динамика ядерных реакторов» требует основных компетенций, знаний, умений и навыков обучающегося, сформировавшихся при обучении по дисциплинам:

- теория переноса нейтронов;
- ядерная физика;
- физика ядерных реакторов;
- уравнения математической физики;
- линейная алгебра.

В ходе изучения дисциплины «Динамика ядерных реакторов» обучающийся получает знания, умения и навыки для успешного изучения следующих дисциплин: Ядерные энергетические реакторы.

Обобщенные трудовые функции, которые сможет полностью или частично продемонстрировать студент при освоении данной дисциплины:

- в соответствии с профессиональным стандартом «24.032. Специалист в области теплоэнергетики (реакторное отделение)»: В/01.7. Обеспечение взаимодействия в процессе инженерно-технической поддержки при эксплуатации реакторного оборудования, технологических систем, основных фондов реакторного отделения АЭС;
- в соответствии с профессиональным стандартом «24.033. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики атомной станции»: С/01.7. Организация и контроль выполнения производственным подразделением работ по обеспечению эксплуатации СИ, СА и аппаратуры СУЗ на АС.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В процессе освоения данной дисциплины у студента формируются следующие компетенции:

общепрофессиональные

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1	Способен использовать базовые знания	З-ОПК-1 Знать: базовые законы естественнонаучных дисциплин; основные математические законы;

	естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	основные физические явления, процессы, законы и границы их применимости; сущность основных химических законов и явлений; методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-ОПК-1 Уметь: выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат В-ОПК-1 Владеть: математическим аппаратом для разработки моделей процессов и явлений, решения практических задач профессиональной деятельности; навыками использования основных общезначимых законов и принципов
--	--	---

профессиональные

Задачи профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
Анализ процессов в ядерных энергетических установках с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы; обеспечение ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами на АЭС (и ЯЭУ).	Современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно - физическими установками. Ядерные, химические и тепловые процессы, протекающие в ядерных энергетических установках и на атомных станциях.	ПК-9 Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы	З-ПК-9 Знать правила и нормы в атомной энергетике, критерии эффективной и безопасной работы ЯЭУ; У-ПК-9 уметь анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ; В-ПК-9 владеть методами анализа нейтронно-физических и технологических процессов в ЯЭУ.

Задачи воспитания, реализуемые в рамках освоения дисциплины

Направление/ цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин	Вовлечение в разноплановую внеучебную деятельность
Профессиональ	- формирование	Использование	1. Организация

ное и трудовое воспитание	глубокого понимания социальной роли профессии, позитивной и активной установки на ценности избранной специальности, ответственного отношения к профессиональной деятельности, труду (B14)	<p>воспитательного потенциала дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального модуля для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования позитивного отношения к профессии инженера (конструктора, технолога), понимания ее социальной значимости и роли в обществе, стремления следовать нормам профессиональной этики посредством контекстного обучения, решения практико-ориентированных ситуационных задач. - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, способности критически, самостоятельно мыслить, понимать значимость профессии посредством осознанного выбора тематики проектов, выполнения проектов с последующей публичной презентацией результатов, в том числе обоснованием их социальной и практической значимости; - формирования навыков командной работы, в том числе реализации различных проектных ролей (лидер, исполнитель, аналитик и пр.) посредством выполнения совместных проектов. 	<p>научно-практических конференций и встреч с ведущими специалистами предприятий города и ветеранами атомной отрасли.</p> <p>2. Организация и проведение предметных олимпиад и участие в конкурсах профессионального мастерства.</p> <p>3. Участие в ежегодных акциях студенческих строительных отрядов</p>
Профессиональное и трудовое воспитание	- формирование психологической готовности к профессиональной деятельности по избранной профессии (B15)	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин общепрофессионального модуля для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, потребности в достижении результата, понимания функциональных обязанностей и задач избранной профессиональной деятельности, чувства профессиональной 	<p>1. Организация научно-практических конференций и встреч с ведущими специалистами предприятий города и ветеранами атомной отрасли.</p> <p>2. Организация и проведение предметных олимпиад и участие в конкурсах</p>

		ответственности через выполнение учебных, в том числе практических заданий, требующих строгого соблюдения правил техники безопасности и инструкций по работе с оборудованием в рамках лабораторного практикума.	профессионального мастерства. 3.Участие в ежегодных акциях студенческих строительных отрядов
--	--	---	---

Структура и содержание учебной дисциплины

Дисциплина преподается студентам в 8-ом семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 ак. часа.

Календарный план

№ раздела	№ темы	Наименование раздела/темы дисциплины	Виды учебной деятельности (час.)					Аттестация раздела (форма)	Максимальный балл за раздел
			Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	СРС		
1		Переходные процессы в ядерных реакторах						УО	30
	1	Введение	4	2		-	2		
	2	Ядерный реактор как объект управления	12	2	4	-	6		
	3	Кинетика ядерного реактора без учета запаздывающих нейтронов	8	2	2	-	4		
	4	Кинетика ядерного реактора с учетом запаздывающих нейтронов при скачках реактивности без обратной связи I	8	2	2	-	4		
	5	Кинетика ядерного реактора с учетом запаздывающих нейтронов в различных случаях без обратной связи II	8	2	2	-	4		
	6	Кинетика ядерного реактора с обратными связями	10	2	2	-	6		
	7	Изменение изотопного состава активной зоны	6	2	-	-	4		
2		Регулирование ядерных реакторов						УО	30
	8	Способы регулирования реакторов различных типов. Поглощающие стержни	8	4	-	-	4		
	9	Борное регулирование	6	2	-	-	4		
	10	Выгорающие поглотители	6	2	-	-	4		
	11	Нейтронно-физические измерения при эксплуатации ядерного реактора	6	2	-	-	4		

12	Пуск реактора	6	2	-	-	4		
13	Тепловая мощность реактора. Останов ядерного реактора. Остаточное энерговыделение	8	2	-	-	6		
14	Процессы, приводящие к несанкционированному выходу реактора в критическое состояние или к росту реактивности (к самозапуску, при авариях)	12	4	4	-	4		
	Экзамен							40
ИТОГО		108	32	16	-	60	Э	100

Содержание лекционного курса

Темы лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3
Введение. Представление преподавателя. Место дисциплины среди специальных дисциплин специальности АЭС. Структура курса. Рекомендуемая основная и дополнительная литература, рекомендуемые интернет-источники. Дисциплины «Теория переноса нейтронов» и «Физика ядерных реакторов» как база кинетики ядерных реакторов. Основные понятия и ключевые моменты курсов «Теория переноса нейтронов» и «Физика ядерных реакторов», важные для управления ядерным реактором и для его безопасной эксплуатации: распределение нейтронов в активной зоне гомогенного реактора с отражателем и распределение тепловых нейтронов в отражателе; неравномерность поля энерговыделения и методы выравнивания поля энерговыделения в активной зоне ядерного реактора; коэффициенты неравномерности поля энерговыделения в ядерном реакторе и способы их уменьшения; физическое профилирование в многозонном ядерном реакторе; картограмма топливной загрузки ядерного реактора; влияние температуры на геометрические размеры и нейтронно-физические свойства реакторных материалов и сред; влияние изменения температуры на коэффициенты формулы 4-х сомножителей и на утечку нейтронов из реактора – влияние изменения температуры на эффективный коэффициент размножения нейтронов в активной зоне ядерного реактора; обратные связи в ядерном реакторе; эффекты реактивности.	2	1-2
Ядерный реактор как объект управления. Происходящие в ЯЭУ физические процессы. Кинетика ядерных реакторов и ее задачи. Часто применяемые приближения кинетики. Возможные источники нейтронов в реакторе и их роль. Запаздывающие нейтроны и запаздывающие фотонейтроны: характеристики и роль в управлении	2	1-2

реактором. Эффективная доля запаздывающих нейтронов. Ценность запаздывающих нейтронов. Реактивность и единицы ее измерения.		
Кинетика ядерного реактора без учета запаздывающих нейтронов. Время жизни нейтронов и его влияние на переходные процессы в реакторе. Реактивность. Элементарное уравнение кинетики (без учета запаздывающих нейтронов) и его решение. Период реактора. Неконтролируемый разгон реактора (состояние мгновенной критичности).	2	1-2
Кинетика ядерного реактора с учетом запаздывающих нейтронов при скачках реактивности без обратной связи I. Решение уравнений кинетики с учетом шести групп запаздывающих нейтронов (приближение мгновенного скачка положительной и отрицательной реактивности). Характеристики, определяющие поведение реактора при различных скачках реактивности. Период реактора. Мгновенная критичность. Уравнение обратных часов и его решение.	2	1-2
Кинетика ядерного реактора с учетом запаздывающих нейтронов в различных случаях без обратной связи II. Анализ возмущенного движения ЯР в одnogрупповом приближении при скачке реактивности $\rho > 0$. Мгновенно-критический реактор. Кинетика ядерного реактора при линейном изменении реактивности. Кинетика точечного реактора при линейном изменении реактивности. Особенности кинетики холодного реактора с источником. Определение реактивности и периода ядерного реактора на основе обращенного решения уравнений кинетики.	2	1-2
Кинетика ядерного реактора с обратными связями. Кинетика реактора с обратной связью по температуре без учета запаздывающих нейтронов при скачке реактивности. Фазовая диаграмма системы и колебания мощности реактора. Изменения мощности реактора при небольшом возмущении реактивности с учетом запаздывающих нейтронов. Определение частоты и периода колебаний мощности. Кинетика мгновенно критического (мгновенно надкритического) ядерного реактора.	2	1-2
Изменение изотопного состава активной зоны. Выгорание ядерного топлива, воспроизводство. Глубина выгорания топлива. Отравление ядерного реактора ксеноном-135. Процессы образования и убыли ксенона. Полная система диф. уравнений отравления ксеноном для моноэнергетических нейтронов и ее решения. Связь отравления с реактивностью. Стационарное и нестационарное отравление ксеноном. Зависимость стационарного отравления ксеноном от величины плотности потока нейтронов, мощности и обогащения топлива. Эффективный период полураспада ксенона и прометия. Факторы, определяющие глубину йодной ямы. Оперативное время и время вынужденной стоянки.	2	1-2

Ксеноновые колебания. Шлакование ядерного реактора. Группы шлаков. Отравление самарием-149. Процессы образования и убыли самария. Полная система диф. уравнений отравления самарием для моноэнергетических нейтронов и ее решения. Связь отравления с реактивностью. Стационарное и нестационарное отравление самарием. Зависимость стационарного отравления самарием от величины плотности потока нейтронов, мощности и энерговыработки реактора и обогащения топлива. Прометиевый провал. «Самариевая смерть» реактора. Сходства и отличия в отравлении реактора ксеноном и самарием. Сопоставление процессов отравления ядерного реактора ксеноном и самарием в случае произвольного режима работы.		
Способы регулирования реакторов различных типов. Поглощающие стержни. Общие подходы к управлению цепной реакцией деления в ядерном реакторе. Способы регулирования реакторов различных типов. Эффективность регулирования отражателем. Классификация поглощающих стержней (ПС). Материалы и форма поглощающих стержней. «Легкие» и «тяжелые» ПС.	4	1-2
Борное регулирование. Компенсация запаса реактивности и эффектов реактивности. Достоинства и недостатки борного регулирования. Интегральная и дифференциальная эффективность борной кислоты. Эффективность водообмена в начале и в конце кампании реактора. Стояночная концентрация борной кислоты. Плотность потока нейтронов в подкритическом реакторе. Температура повторной критичности. Методика определения пусковой концентрации борной кислоты в соответствии с АНФХ 10 топливной загрузки 1 блока РoАЭС с реактором ВВЭР-1000.	2	1-2
Выгорающие поглотители. Выгорающие поглотители (ВП). ТВЭЛы и ТВЭГи. Диф. уравнения выгорания и их решения. Гомогенное и гетерогенное (блочное) расположение ВП.	2	1-2
Нейтронно-физические измерения при эксплуатации ядерного реактора. Общая методика определения критической загрузки по кривым обратного счета. Методы градуировки органов управления системы управления и защит (ОР СУЗ) реактора, краткий обзор и их характеристика. Общая методика построения интегральной и дифференциальной характеристик поглощающего стержня. Общая методика определения мощностного и температурного эффектов и коэффициентов реактивности. Общая методика определения отравления реактора ксеноном.	2	1-2
Пуск реактора. Подкритический, критический и надкритический реактор. Пуск реактора: определения, особенности, требования безопасности. Физический холодный и горячий пуск. Контроль параметров при пуске реактора. Управление реактором в режиме пуска. Расчет критического положения компенсирующего стержня.	2	1-2

<p>Тепловая мощность реактора. Останов ядерного реактора. Остаточное энерговыделение. Определение тепловой мощности различными методами. Останов реактора. Процессы, происходящие в реакторе после останова. Источники остаточного энерговыделения в реакторах после останова. Температура повторной критичности. Кризис теплообмена I и II рода и условия их возникновения.</p>	2	1-2
<p>Процессы, приводящие к несанкционированному выходу реактора в критическое состояние или к росту реактивности (к самозапуску, при авариях). Рабочий технологический регламент энергоблока. Программы регулирования реакторных установок. Опасные и аварийные режимы работы ядерных реакторов с точки зрения физики ядерных реакторов. Самозапуск реактора. Процессы, приводящие к несанкционированному выходу реактора в критическое состояние (к самозапуску), при авариях или к росту реактивности. Транспортное запаздывание. Сброс аварийной защиты. Включение ГЦН. Характер переходного процесса при самозапуске реактора. Характер переходного процесса при быстрой аварии. Проектные аварии, их опасность с точки зрения активной зоны (отключение ТГ, ТПН, ПВД, ГЦН, закрытие БЗОК и т.д.). Потеря теплоносителя первого и второго контуров с точки зрения активной зоны. Ситуации потенциальной возможности возникновения ядерной аварии в реакторе при эксплуатации и вне реактора (транспортировка и перегрузка топлива). Запроектные аварии и управление ими. Анализ причин и последствий аварий различных типов. Аналитический и полномасштабный тренажеры БЩУ (БПУ) энергоблока. Знакомство с тренажерами УТП РoАЭС по управлению энергоблоком АЭС. Моделирование нестационарных процессов. Посещение тренировок оперативного персонала БЩУ (БПУ) на полномасштабном тренажере УТП РoАЭС по отработке навыков управления энергоблоком АЭС с реактором ВВЭР-1000 в различных, в том числе аварийных, ситуациях (режимах).</p>	4	1-2

Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторных работ.	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
Исследование поведения ядерного реактора при скачкообразном изменении реактивности	4	3, 4
Исследование поведения ядерного реактора с источником нейтронов в подкритическом реакторе	2	3, 4
Исследование поведения ядерного реактора при линейном вводе (выводе) реактивности	2	3, 4
Исследование влияния обратных связей и механизма саморегулирования ядерного реактора	2	3, 4

Исследование влияния возмущений входных параметров на поведение реактора с обратными связями по температуре топлива и теплоносителя	2	3, 4
Динамика реакторов при больших скачках реактивности (нейтронные вспышки)	4	3, 4

Задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3
1. Переходные процессы в ядерных реакторах Дополнительное изучение материалов по кинетике реакторов на быстрых нейтронах, по кинетике активных зон, загруженных МОКС-топливом.	30	1-4
2. Регулирование ядерных реакторов Дополнительное изучение теории: Основные методы расчета эффективности поглощающих стержней, включая «серые» стержни, интерференцию стержней, методики их «взвешивания». Повторение материалов курса «Физика ядерных реакторов» и расширенное изучение: Программы проектирования, теплогидравлического и нейтронно-физического расчета ЯЭУ. Программы (программные комплексы), применяемые для расчетов на АЭС с реакторами ВВЭР1000: ТВС-М, БИПР-7А, ПЕРМАК-А, ПИР-А. АНФХ топливной загрузки энергоблока. Проектная документация. Эксплуатационная документация. Выполнение ядерно-опасных операций на АЭС. Рабочий технологический регламент энергоблока. Должностные требования и инструкции. Инструкции по эксплуатации оборудования и технологических систем энергоблока.	30	1-4

Образовательные технологии

При реализации учебного материала курса используются различные образовательные технологии, способствующие созданию атмосферы свободной и творческой дискуссии как между преподавателем и студентами, так и в студенческой группе. Целью при этом является выработка у студентов навыков и компетенций, позволяющих самостоятельно вести исследовательскую и научно-педагогическую работу.

При изучении дисциплины применяются следующие образовательные технологии:

- классическое лекционное обучение с использованием наглядных пособий;
- проведение лекций при поддержке мультимедиа;
- проведение практических занятий с решением примеров у доски, а также при поддержке мультимедиа, самостоятельное решение задач обучающимися в присутствии преподавателя;
- проблемный подход;
- разноуровневое обучение;
- самостоятельное изучение дисциплины обучающимися при помощи учебных печатных и электронных изданий;

–информационно-коммуникационные технологии – в институте имеются специализированные помещения для самостоятельной работы, оборудованные персональными компьютерами с выходом в Интернет и с доступом к электронно-библиотечной системе;

–интерактивный глоссарий по теоретической механике;

–методические указания (в том числе в электронной форме) по различным разделам дисциплины.

Самостоятельная работа студентов проводится под руководством преподавателей, с оказанием консультаций и помощи при подготовке к контрольным работам, выполнении домашних заданий

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:

№ п/п	Наименование контролируемых разделов (темы)	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Наименование оценочного средства
Входной контроль			
1	Входной контроль		Вопросы входного контроля (устно)
Аттестация разделов, текущий контроль успеваемости			
1	Переходные процессы в ядерных реакторах	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3- ПК-9, У- ПК-9, В- ПК-9	Выполнение лабораторных работ Устный опрос
2	Регулирование ядерных реакторов	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3- ПК-9, У- ПК-9, В- ПК-9	Выполнение лабораторных работ Устный опрос
Промежуточная аттестация			
1	Экзамен	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3- ПК-9, У- ПК-9, В- ПК-9	Вопросы к экзамену (устно)

Входной контроль предназначен для выявления пробелов в знаниях студентов и готовности их к получению новых знаний. Оценочные средства для входного контроля представляют собой вопросы, которые задаются студентам в устной форме.

Вопросы к собеседованию

1. Понятия: спектр нейтронов, плотность нейтронов, плотность потока нейтронов, плотность тока нейтронов (ток нейтронов). Флюенс. Скорость реакции данного вида. Плотность реакции данного вида (плотность замедления, деления и т.п.) нейтронов. Микро- и макроскопическое сечения. Закон $1/v$ для микросечений и его классическое толкование. Длина свободного пробега нейтронов. Возраст нейтронов, длина диффузии и длина миграции. Площадь миграции. Летагия. Слабо- и сильнопоглощающая нейтроны среда.

2. Урановый и ториевый топливный цикл. Нейтронно-физические характеристики топливных и сырьевых нуклидов (2-4 нуклида по выбору преподавателя: U-233, U-235, U-238, Th-232, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242).

3. Нейтронный цикл в тепловом ядерном реакторе. Время замедления и время диффузии нейтронов. Время жизни поколения. Физический смысл и значение (для ВВЭР-1000) множителей формулы 4-х сомножителей. Утечка нейтронов. Вероятность избежать утечки при замедлении. Вероятность избежать утечки при диффузии. Баланс нейтронов. Эффективный коэффициент размножения нейтронов для бесконечной и конечной сред. Реактивность. Единицы измерения реактивности. Влияние изменения линейных размеров гомогенного ядерного реактора на Кэф. и реактивность (качественное объяснение).

4. Коэффициенты формулы четырех сомножителей для гомо- и гетерогенного ядерного реактора. Расчет гомогенизированных ядерных концентраций в ячейке (гомогенизация ячейки). Критерий гомогенности (гетерогенности). Фактор проигрыша.

5. Коэффициент использования тепловых нейтронов для гомо- и гетерогенного ЯР. Фактор проигрыша. Вероятность избежать резонансного захвата на уране-238 для гомо- и гетерогенного ЯР. Эффективный и истинный резонансный интеграл поглощения. Фактор самоэкранирования. Зависимости ϕ и θ от диаметра топливной таблетки (типа реактора – гомо-гетеро).

6. Физические особенности гетерогенных ядерных реакторов. Влияние соотношения «замедлитель-топливо» (вода-уранового) соотношения на внешний и внутренний блок-эффекты и на эффективный коэффициент размножения нейтронов в ядерном реакторе. Количественные характеристики блок-эффектов.

7. Общая методика решения диф. уравнения диффузии для активной зоны ядерного реактора. Условие критичности для гомогенного голого ядерного реактора конечных размеров. Материальный и геометрический параметры и их величины, их соотношение в реакторе.

8. Критические размеры гомогенных голых реакторов различной геометрии, их геометрические параметры, распределение плотности потока нейтронов (пластина, сфера, параллелепипед, цилиндр).

9. Критическая масса и критический объем. Минимальный критический объем гомогенного голого реактора различной геометрии. Коэффициенты неравномерности нейтронного потока для гомогенного голого реактора конечных размеров различной геометрии (пластина, сфера, параллелепипед, цилиндр).

10. Функции отражателя. Эквивалентный реактор. Эффективная добавка отражателя. Тонкий и толстый отражатель, бесконечно толстый отражатель.

11. Гомогенный реактор с отражателем в однокрупном приближении. Методика получения условия критичности.

12. Гомогенный реактор с отражателем в двухкрупном приближении. Методика получения условия критичности. Распределение тепловых нейтронов в отражателе.

13. Температурные эффекты в реакторе. Зависимость от температуры параметров в формуле 4-х сомножителей.

14. Выгорание и воспроизводство ядерного топлива. Глубина выгорания. Изменение изотопного состава топлива в активной зоне реактора при его работе. Уравнение выгорания и воспроизводства ядерного топлива (уравнения изотопной кинетики). Отравление и шлакование, группы шлаков. Перегрузки топлива. Кампания топлива. Кампания реактора. Урановый и ториевый топливный цикл.

15. Реактивность. Эффекты реактивности. ТЭР и ТКР по замедлителю и топливу, порядки их величин. Виды кривых ТЭР реакторов, их достоинства и недостатки. Запас реактивности. Система компенсации запаса реактивности в реакторах различных типов. Требования ядерной безопасности. Температура повторной критичности.

16. Эффект Доплера. Мощностной и температурный эффекты реактивности, их проявление и величины. Барометрический и паровой эффект реактивности, их проявление и величины. Обратные связи и саморегулирование ядерных реакторов. Требования ядерной безопасности.

Шкала оценивания обучающегося на входном контроле

Требования к знаниям, умениям и навыкам обучающегося	Баллы рейтинговой оценки
Обучающийся отлично владеет основными понятиями математики, физики, начертательной геометрии и инженерной графики, знает и умеет применять основные формулы и законы, может решать нестандартные задачи.	5
Обучающийся хорошо владеет большей частью основных понятий математики, физики, начертательной геометрии и инженерной графики, знает и умеет применять основные формулы и законы, владеет методикой решения типовых задач.	2-4
Обучающийся имеет удовлетворительный уровень знания математики, физики, начертательной геометрии и инженерной графики, знает основные формулы и законы, способен решать простейшие задачи.	1
Обучающийся практически не овладел значительной частью программного материала и не владеет важнейшими инструментами математики, физики и начертательной геометрии и инженерной графики, не умеет решать даже типовых задач.	0

Оценочные средства для текущего контроля

Раздел 1

Вопросы для устного опроса по разделу

1. Элементарное уравнение кинетики реактора
2. Мгновенные и запаздывающие нейтроны и их характеристики
3. Доля выхода группы среди всех генерируемых нейтронов - β_i
4. Величина начальной кинетической энергии E_i запаздывающих нейтронов
5. Изменчивость величины β_{Σ} в процессе кампании активной зоны
6. Время запаздывания
7. Среднее время жизни мгновенных нейтронов
8. Среднее время жизни поколения всех нейтронов в реакторе
9. Период реактора, период удвоения мощности и их взаимосвязь
10. Дифференциальное уравнение скорости изменения плотности нейтронов
11. Дифференциальные уравнения скоростей изменения эффективных концентраций предшественников запаздывающих нейтронов
12. Решение системы дифференциальных уравнений кинетики
13. Уравнение обратных часов
14. Практическое значение решения уравнения обратных часов

15. Характер переходных процессов $\rho(t)$ при сообщении реактору отрицательной реактивности
16. Величина начального скачка при отрицательных реактивностях
17. Предельный темп снижения мощности реактора после завершения начального скачка
18. Общий характер переходных процессов при положительной реактивности
19. Мгновенная критичность реактора как источник ядерной опасности
20. Особенности переходных процессов при сообщении реактору малых реактивностей
21. Особенности переходных процессов при сообщении реактору больших реактивностей
22. Источники нейтронов в подкритическом реакторе
23. Устанавливающаяся в подкритическом реакторе плотность нейтронов
24. Переходные процессы при изменениях степени подкритичности реактора
25. Время практического установления подкритической плотности нейтронов в реакторе после изменения степени подкритичности
26. Процедура ступенчатого пуска и ядерная безопасность реактора
27. Понятия общего и оперативного запаса реактивности реактора
28. Физические процессы, влияющие на величины и общего и оперативного запасов реактивности в процессе эксплуатации реактора
29. Дифференциальное уравнение выгорания урана-235
30. Энерговыводка реактора
31. Потери запаса реактивности с выгоранием топлива
32. Основные характеристики выгорания

Шкала оценивания обучающегося на опросе

На опрос предлагаются четыре вопроса на усмотрение преподавателя. 4. Время ответа на вопрос 1-1,5 минуты. Критерии оценки (максимальное количество баллов – 20 баллов): Стоимость ответа на каждый вопрос составляет 5 баллов. 20 баллов – при ответе на 4 вопроса; 15 баллов – при ответе на 3 вопроса; 10 баллов – при ответе на 2 вопроса; 5 баллов – при ответе на 1 вопрос; 0 баллов – при отсутствии ответа на все вопросы. Неполные и частично ошибочные ответы на вопрос могут быть оценены в 3 балла.

Раздел 2

Вопросы для устного опроса по разделу

1. Уменьшение запаса реактивности за счёт шлакования ядерного топлива
2. Схема образования и убыли вторичного топлива
3. Коэффициент воспроизводства ядерного топлива
4. Характеристики наиболее распространённых выгорающих поглотителей
5. Факторы, определяющие скорость выгорания ВП
6. Характер изменения реактивности при разных способах размещения ВП
7. Варианты применения ВП в гетерогенном реакторе
8. Кривая энерговыводки активной зоны реактора
9. Особенности процесса отравления ксеноном
10. Количественные меры отравления реактора ксеноном
11. Схема образования и убыли ^{135}Xe и дифференциальные уравнения отравления реактора ксеноном
12. Суть стационарного отравления реактора ксеноном
13. Величина стационарного отравления ксеноном
14. Зависимость стационарного отравления ксеноном от мощности реактора

15. Характер роста потерь запаса реактивности из-за отравления ^{135}Xe первоначально разотравленного реактора в первый период работы на постоянном уровне мощности
16. Время наступления стационарного отравления реактора
17. Переотравление после останова реактора («йодная яма»)
18. Соотношение скоростей β -распада ^{135}I и ^{135}Xe в реакторе
19. Механизм образования «йодной ямы» после останова
20. Факторы, определяющие характеристики йодных ям
21. Чем опасна йодная яма?
22. Чем может быть неприятна йодная яма после останова?
23. Переотравления реактора ксеноном после изменения уровня мощности
24. Характер переотравления с переходом на более низкий уровень мощности
25. Переотравление реактора после повышения уровня мощности
26. Расчёт изменений потерь реактивности за счёт переотравлений реактора
27. Схема образования-убыли ^{149}Sm и дифференциальные уравнения отравления реактора самарием
28. Потери реактивности при стационарном отравлении реактора самарием
29. Закономерность роста потерь реактивности от отравления самарием до выхода реактора на стационарный уровень отравления
30. Нестационарное переотравление реактора самарием после останова («прометиевый провал»)
31. Переотравление самарием после пуска длительно стоявшего реактора
32. Нестационарное переотравление реактора самарием после перевода реактора на более высокий или более низкий уровень мощности

Шкала оценивания обучающегося на опросе

На опрос предлагаются четыре вопроса на усмотрение преподавателя. Время ответа на вопрос 1-1,5 минуты. Критерии оценки (максимальное количество баллов – 20 баллов): Стоимость ответа на каждый вопрос составляет 5 баллов. 20 баллов – при ответе на 4 вопроса; 15 баллов – при ответе на 3 вопроса; 10 баллов – при ответе на 2 вопроса; 5 баллов – при ответе на 1 вопрос; 0 баллов – при отсутствии ответа на все вопросы. Неполные и частично ошибочные ответы на вопрос могут быть оценены в 3 балла.

Требования к выполнению лабораторных работ

Лабораторный практикум выполняется в соответствии с графиком выполнения лабораторных работ. Объем лабораторного практикума по дисциплине составляет 16 часов, студенты выполняют 6 лабораторных работ. Каждая лабораторная работа выполняется бригадами в составе не более двух студентов. На первом, вводном занятии до студентов доводится содержание и календарный план проведения практикума, указывается число баллов, которое может набрать студент при выполнении лабораторного практикума в соответствии с действующей в вузе рейтинговой системой со 100-балльной шкалой оценок, проводится инструктаж по технике безопасности при выполнении работ с оформлением в соответствующем журнале. На этом же занятии преподаватель выдает задание к первой лабораторной работе. Студенты знакомятся с теорией, получают допуск к лабораторной работе и приступают к ее выполнению. На втором занятии студенты выполняют первую лабораторную работу. На третьем занятии студенты выполняют вторую лабораторную работу и осуществляют защиту первой лабораторной работы и т.д. Итоговое занятие завершает лабораторный практикум в целом.

Перед каждой лабораторной работой студент сдаёт краткий коллоквиум, отражающий

уровень предварительной подготовки к выполнению работы. Коллоквиум проводится в виде устного собеседования с преподавателем.

В процессе выполнения работы студент:

изучает по литературным данным параметры и характеристики исследуемого прибора, обращая особое внимание на предельно эксплуатационные параметры;

- составляет план проведения эксперимента, оценивает интервал изменения измеряемых величин, выбирает количество характеристик, подлежащих измерению и число точек на кривых, обращая особое внимание на возможные не монотонности в их ходе, согласует план работы с преподавателем;
- готовит установку к работе и проверяет правильность подготовки у преподавателя;
- включает нужные приборы и выполняет запланированный объем измерений, обращая внимание на воспроизводимость результатов.
- проводит предварительную обработку результатов эксперимента и сравнивает их с ожидаемыми значениями. Предъявляет полученные данные преподавателю;
- выключает установку и сдает ее преподавателю.

Все данные, полученные в ходе работы, записываются в рабочий лабораторный журнал. Рабочий журнал по лабораторному практикуму ведется в отдельной тетради.

По каждой лабораторной работе в журнал заносятся:

- название работы;
- задание на выполнение работы;
- план работы;
- первичные экспериментальные данные в виде таблиц без каких-либо пересчетов или преобразований;
- результаты предварительной обработки данных в объеме, необходимом для определения их полноты и надежности.

По окончании работы лабораторный журнал подписывается преподавателем.

По итогам каждой лабораторной работы оформляется отчет, который сдается преподавателю на следующем после выполнения данной работы занятии.

Отчет должен включать:

- краткое теоретическое введение, отражающее устройство, принцип действия и назначение исследуемого прибора;
- задание на выполнение работы;
- план проведения эксперимента;
- теоретические расчеты, анализ полученных данных и сравнение их с литературными;
- выводы;
- список использованной литературы.

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Вопросы к экзамену

1. Элементарное уравнение кинетики реактора
2. Мгновенные и запаздывающие нейтроны и их характеристики
3. Доля выхода группы среди всех генерируемых нейтронов - β_i
4. Величина начальной кинетической энергии E_i запаздывающих нейтронов
5. Изменчивость величины β_3 в процессе кампании активной зоны
6. Время запаздывания
7. Среднее время жизни мгновенных нейтронов
8. Среднее время жизни поколения всех нейтронов в реакторе
9. Период реактора, период удвоения мощности и их взаимосвязь

10. Дифференциальное уравнение скорости изменения плотности нейтронов
11. Дифференциальные уравнения скоростей изменения эффективных концентраций предшественников запаздывающих нейтронов
12. Решение системы дифференциальных уравнений кинетики
13. Уравнение обратных часов
14. Практическое значение решения уравнения обратных часов
15. Характер переходных процессов $n(t)$ при сообщении реактору отрицательной реактивности
16. Величина начального скачка при отрицательных реактивностях
17. Предельный темп снижения мощности реактора после завершения начального скачка
18. Общий характер переходных процессов при положительной реактивности
19. Мгновенная критичность реактора как источник ядерной опасности
20. Особенности переходных процессов при сообщении реактору малых реактивностей
21. Особенности переходных процессов при сообщении реактору больших реактивностей
22. Источники нейтронов в подкритическом реакторе
23. Устанавливающаяся в подкритическом реакторе плотность нейтронов
24. Переходные процессы при изменениях степени подкритичности реактора
25. Время практического установления подкритической плотности нейтронов в реакторе после изменения степени подкритичности
26. Процедура ступенчатого пуска и ядерная безопасность реактора
27. Понятия общего и оперативного запаса реактивности реактора
28. Физические процессы, влияющие на величины и общего и оперативного запасов реактивности в процессе эксплуатации реактора
29. Дифференциальное уравнение выгорания урана-235
30. Энерговыработка реактора
31. Потери запаса реактивности с выгоранием топлива
32. Основные характеристики выгорания
33. Элементарное уравнение кинетики реактора
34. Мгновенные и запаздывающие нейтроны и их характеристики
35. Доля выхода группы среди всех генерируемых нейтронов - β_i
36. Величина начальной кинетической энергии E_i запаздывающих нейтронов
37. Изменчивость величины β_3 в процессе кампании активной зоны
38. Время запаздывания
39. Среднее время жизни мгновенных нейтронов
40. Среднее время жизни поколения всех нейтронов в реакторе
41. Период реактора, период удвоения мощности и их взаимосвязь
42. Дифференциальное уравнение скорости изменения плотности нейтронов
43. Дифференциальные уравнения скоростей изменения эффективных концентраций предшественников запаздывающих нейтронов
44. Решение системы дифференциальных уравнений кинетики
45. Уравнение обратных часов
46. Практическое значение решения уравнения обратных часов
47. Характер переходных процессов $n(t)$ при сообщении реактору отрицательной реактивности
48. Величина начального скачка при отрицательных реактивностях
49. Предельный темп снижения мощности реактора после завершения начального скачка
50. Общий характер переходных процессов при положительной реактивности
51. Мгновенная критичность реактора как источник ядерной опасности

52. Особенности переходных процессов при сообщении реактору малых реактивностей
53. Особенности переходных процессов при сообщении реактору больших реактивностей
54. Источники нейтронов в подкритическом реакторе
55. Устанавливающаяся в подкритическом реакторе плотность нейтронов
56. Переходные процессы при изменениях степени подкритичности реактора
57. Время практического установления подкритической плотности нейтронов в реакторе после изменения степени подкритичности
58. Процедура ступенчатого пуска и ядерная безопасность реактора
59. Понятия общего и оперативного запаса реактивности реактора
60. Физические процессы, влияющие на величины и общего и оперативного запасов реактивности в процессе эксплуатации реактора
61. Дифференциальное уравнение выгорания урана-235
62. Энерговыводка реактора
63. Потери запаса реактивности с выгоранием топлива
64. Основные характеристики выгорания
65. Загрузка топлива в реактор. Измерения при пуске реактора.
66. Определение эффектов реактивности при пуске реактора. Взвешивание стержней.
67. Этапы пуска. Требования к состоянию реакторной установки перед пуском.
68. Контроль нейтронного потока реактора. Оборудование пусковой и штатной систем.
69. Измерение тепловой мощности ядерного реактора.
70. Альбом нейтронно-физических характеристик реактора
71. Технологический регламент эксплуатации реактора. Основные положения, противопоаварийные предписания.
72. Аварийные режимы и их влияние на реактор. Обесточивание АЭС, отключение ГЦН, отключение турбин, потеря теплоносителя.
73. Протекание и уроки аварии на АЭС Тримайл-Айленд
74. Протекание и уроки аварии на ЧАЭС
75. Протекание и уроки аварии на АЭС Фукусима

Шкала оценивания обучающегося на экзамене

Уровень освоения материала	Оценка (стандартная)	Баллы рейтинговой оценки
Теоретическое содержание дисциплины освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с материалом полностью сформированы. Обучающийся исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал, умеет тесно увязывать теорию с практикой, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий.	Отлично	36-40
Теоретическое содержание дисциплины освоено практически полностью, обучающийся грамотно и по существу излагает материал, не допуская существенных неточностей, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их	Хорошо	31-35

выполнения.		
Теоретическое содержание дисциплины освоено частично, обучающийся имеет знания только основного материала, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении материала, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, однако обучающийся испытывает затруднения при решении практических задач.	Удовлетворительно	24-30
Теоретическое содержание дисциплины освоено частично, обучающийся допускает существенные ошибки, не видит взаимосвязи теории с практикой, необходимые практические навыки работы не сформированы, большинство предусмотренных рабочей программой дисциплины учебных заданий не выполнено. Необходима дополнительная самостоятельная работа над материалом курса.	Не Удовлетворительно	0-23

Баллы итоговой рейтинговой оценки по дисциплине «Динамика ядерных реакторов»:

Баллы (итоговой рейтинговой оценки)	Требования к знаниям
100-85	Ответы на поставленные вопросы полные, четкие и развернутые. Решения задач логичны, доказательны и демонстрируют аналитические и творческие способности студента.
84-70	Даются полные ответы на поставленные вопросы. Показано умение выделять причинно-следственные связи. При решении задач допущены незначительные ошибки, исправленные с помощью «наводящих» вопросов преподавателя.
69-60	Ответы на вопросы и решения поставленных задач недостаточно полные. Логика и последовательность в решении задач имеют нарушения. В ответах отсутствуют выводы.

Студент, получивший менее 60% от максимального балла за раздел дисциплины или промежуточную аттестацию, считается неаттестованным по данной дисциплине.

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

Основная литература:

1. Наумов, В. И. Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие / В. И. Наумов. — 2-е изд. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2013. — 148 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/75778/#3>
2. Казанский, Ю. А. Кинетика ядерных реакторов. Коэффициенты реактивности. Введение в динамику: учебное пособие / Ю. А. Казанский, Я. В. Слекеничс. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2012. — 300 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/75770/#2>

Дополнительная литература:

3. Моделирование физических процессов в ядерных реакторах: лабораторный практикум :

учебное пособие / А. Г. Наймушин, Ю. Б. Чертков, М. Н. Аникин, И. И. Лебедев. — Томск : ТПУ, 2015. — 111 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/82839/#3>

4. Моделирование физических процессов в ядерных реакторах: лабораторный практикум : учебное пособие / А. Г. Наймушин, Ю. Б. Чертков, М. Н. Аникин, И. И. Лебедев. — Томск : ТПУ, 2015. — 111 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/82839/#3>

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Лекционные занятия проводятся в учебной аудитории, предназначенной для проведения лекционных занятий, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Аудитория оснащена комплектом мультимедийного оборудования (проектор, экран, компьютер, колонки) для проведения занятий с помощью презентаций.

Лабораторные занятия проводятся в учебной аудитории, оснащенной персональными компьютерами с виртуальным лабораторным практикумом для выполнения лабораторных работ согласно перечню лабораторных работ. Аудитория также оснащена комплектом мультимедийного оборудования (проектор, экран, компьютер, колонки) для проведения занятий с помощью презентаций.

Для самостоятельной работы обучающихся имеются специализированные помещения, оборудованные персональными компьютерами с выходом в Интернет и с доступом к электронно-библиотечной системе, электронной библиотеке и электронной информационно-образовательной среде вуза, а также к другим библиотечным фондам.

Учебно-методические рекомендации для студентов

1. Указания для прослушивания лекций

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не надо опасаться, что вопросы могут быть простыми.

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам решения задач (здесь возможен выборочный контроль знаний студентов).

Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными литературными источниками и вновь появляющимися источниками.

2. Указания для выполнения лабораторных работ

Соблюдать требования техники безопасности, для чего прослушать необходимые разъяснения о правильности поведения в лаборатории.

Перед выполнением лабораторной работы провести самостоятельно подготовку к работе изучив основные теоретические положения, знание которых необходимо для осмысленного выполнения работы.

В процессе выполнения работы следует постоянно общаться с преподавателем, не допуская по возможности неправильных действий.

Основные результаты экспериментов необходимо зафиксировать в письменном виде.

При сдаче зачета по работе подготовить отчет о проделанной работе, где должны быть отражены основные результаты и выводы.

3. Указания для выполнения самостоятельной работы

Получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

Подготовить письменный отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

Подготовить ответы на контрольные вопросы.

Методические рекомендации для преподавателей

1. Указания для проведения лекций

На первой вводной лекции сделать общий обзор содержания курса и отметить новые методы и подходы к решению задач, рассматриваемых в курсе, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия. Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия. Раскрывая содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов.

Следует аргументированно обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя, категориальный аппарат. В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного практического занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к занятию. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на занятии с докладами и рефератами.

На последней лекции уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе.

2. Указания для проведения лабораторных занятий.

Соблюдать требования техники безопасности и проводить необходимые разъяснения о правильности поведения в лаборатории.

Перед выполнением лабораторной работы проверить степень готовности студентов, напомнить и обсудить основные теоретические положения, знание которых необходимо для

осмысленного выполнения работ.

В процессе выполнения работы следует постоянно общаться со студентами, не допуская по возможности их неправильных действий.

Требовать, чтобы основные результаты экспериментов были зафиксированы студентами в письменном виде.

При приеме зачета по работе требовать отчет о проделанной работе, где должны быть отражены основные результаты и выводы.

3. Указания по контролю самостоятельной работы студентов

По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть индивидуальным или фронтальным.

При использовании индивидуальных заданий требовать от студента письменный отчет о проделанной работе.

При применении фронтальных заданий вести коллективные обсуждения со студентами основных теоретических положений.


С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы требовать индивидуальные отчеты (допустимо вместо письменного отчета применять индивидуальные контрольные вопросы).

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ и учебным планом основной образовательной программы по специальности 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Рабочую программу составил проф.

 Чернова Н.М.

Рецензент: доцент

 Подгорнов А. А.

Программа одобрена на заседании УМКС 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг от 04.07.2023 года, протокол №6.

Председатель учебно-методической комиссии

 Магерамов Р. А.