

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
КОНЦЕПЦИЯ БЕЗОПАСНОСТИ «ТЕЧЬ ПЕРЕД РАЗРУШЕНИЕМ»

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, экс./зач./КР/КП
3	4	144	8	24	0	76	0	Э
Итого	4	144	8	24	0	16	76	0

АННОТАЦИЯ

Дисциплина посвящена обучению студентов методам и технологии обеспечения безопасной эксплуатации главных трубопроводов АЭС на основе концепции «течь перед разрушением» (ТПР). Изучаются вопросы, составляющие базу для анализа возможности возникновения разрывов трубопроводов полным сечением на основе методов механики разрушения и мероприятия по их предотвращению.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Концепция безопасности течь перед разрушением» являются:

- введение студентов в круг понятий, представлений и доказательств, используемых при разработке методологии ТПР, исключающей или предотвращающей разрывы в высокоэнергетических системах трубопроводов как для действующих, так и новых ядерных энергетических установок (ЯЭУ) с водным теплоносителем;
- получение экономических выгод и повышение безопасности от внедрения методологии ТПР для действующих и проектов новых ЯЭУ;
- представление основных условий и предпосылок для обоснования возможности применения концепции безопасности ТПР или концепции “исключения разрывов” (ИР);
- формулировка требований к применяемым материалам и критериев, обеспечивающих предпосылки и техническое доказательство применимости методологии ТПР/ИР;
- формулировка требований к системам обнаружения течи (СОТ);
- подготовка студентов для изучения последующих курсов (компьютерное моделирование, сопровождение жизненного цикла, применяемые материалы, САПР).

Задачи дисциплины:

- введение в курс механики разрушения, определения, представление методологии ТПР, её отражение и развитие в нормативно-технических документах;
- достижение основных принципов и предпосылок применимости методологии ТПР;
- изучение механизмов разрушения и предельных состояний по общей и локальной неустойчивости;
- формулировка критериев и требований к расчетно-экспериментальному обоснованию ТПР;
- ознакомление с процедурами и особенностями технического обоснования ТПР;
- овладение методами расчета докритического роста дефектов, предельных состояний, площади раскрытия сквозных трещин и расхода рабочей среды через них;
- изучение граничного подхода по квалификации высокоэнергетических систем трубопроводов с использованием критериев применимости ТПР;
- овладение основными методами контроля неидентифицированных течей, используемых в автоматизированных системах обнаружения течи;
- построение алгоритма решений задач обеспечения ТПР на стадиях проектирования и эксплуатации ядерных установок.

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», «Дисциплины по выбору».

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-2 [1] – Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	З-ОПК-2 [1] – Знать: современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы; В-ОПК-2 [1] – Владеть: навыками применения современных методов исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы У-ОПК-2 [1] – Уметь: применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
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
научно- исследовательский			
Выработка направлений и проведение прикладных научных исследований в области по повышения	Объекты использования атомной энергии.	ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и	З-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения экспериментальных и

<p>эффективности и безопасности объектов использования атомной энергии.</p>		<p>производственных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008</p>	<p>теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных ; У-ПК-4[1] - Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ; В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач</p>
		<p>ПК-6 [1] - Способен оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения</p> <p><i>Основание:</i></p>	
<p>инновационный</p>			
<p>Исследования и разработки, направленные на</p>	<p>Ядерные энерготехнологии нового поколения;</p>	<p>ПК-6.3 [1] - Способен к самостоятельному решению вопросов,</p>	<p>3-ПК-6.3[1] - Знать структуру и основные положения</p>

<p>создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.</p>	<p>функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.</p>	<p>связанных с разработкой и применением современных методов измерений и контроля параметров напряженно-деформированного состояния материалов и элементов конструкций ядерных энергетических установок.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>нормативно-правовых и нормативно-технических документов Российской Федерации, определяющих требования к выбору конструкционных материалов и оценке их работоспособности при различных условиях эксплуатации в составе ядерных установок и других объектов использования атомной энергии.; У-ПК-6.3[1] - Уметь объяснить границы применимости основных конструкционных материалов при различных видах внешних воздействий.; В-ПК-6.3[1] - Владеть методами анализа результатов диагностики и контроля сварных соединений для принятия решения о их работоспособности.</p>
<p>Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования</p>	<p>Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа</p>	<p>ПК-14 [1] - Способен оценивать экономический эффект от внедрения продуктов инновационной деятельности производственных и научных подразделений</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-14[1] - Знать методы оценки эффективности разработок ; У-ПК-14[1] - Уметь оценивать экономический эффект от внедрения продуктов инновационной деятельности производственных и научных подразделений; В-ПК-14[1] - Владеть</p>

атомной энергии.	безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.		методами экономического расчета и обоснования инновационных проектов
------------------	---	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (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	Основные положения концепции ТПР, методология, расчетные процедуры, техническое обоснование выполнения условий ТПР.	1-8	4/12/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-6, У-ПК-6,

							В-ПК-6
2	Методы анализа стабильности, циклического и коррозионно-статического роста трещин. Порядок проведения расчетов, экспериментальное подтверждение, практическое применение методологии.	9-16	4/12/0	КИ-16 (25)	25	КИ-16	3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		8/24/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э	3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-

							ПК-6, 3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-14, У-ПК-14, В-ПК-14, 3-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>	8	24	0
1-8	Основные положения концепции ТПР, методология, расчетные процедуры, техническое обоснование выполнения условий ТПР.	4	12	0
1 - 8	Основные положения концепции ТПР, методология, расчетные процедуры, техническое обоснование выполнения условий ТПР. Цель и краткое описание курса по применению концепции безопасности ТПР. Основные термины и определения.	Всего аудиторных часов		
		4	12	0
		Онлайн		
		0	0	0

Постулируемые разрывы в высокоэнергетических системах трубопроводов. Общие критерии проектирования. Требования нормативных документов. Обеспечения безопасности проектируемых и находящихся в эксплуатации трубопроводов. Принцип глубокошелонированной защиты. Цели и выгоды применения методологии ТПР. Область применения. Предыстория, развитие и внедрение ТПР в мировой практике.

Ограничения и подтверждения возможности применения методологии ТПР к трубопроводным системам и компонентам как действующих, так и новых ЯЭУ. Предпосылки для применения концепции ТПР, как составной части общей концепции безопасности "исключение разрушения". Оценка опыта эксплуатации. Основные и дополнительные (резервные) принципы. Индивидуальная классификация на уровне баланса по позициям с полным исключением разрушения, низкой вероятностью разрушения или удерживаемым (контролируемым) разрушением.

Представление методологии. Описание, цели, необходимые требования и реализация. Основы технического доказательства выполнения условий ТПР. Необходимый перечень сведений и оценок. Основные этапы и процедуры обоснования выполнения условий ТПР. Рассмотрение и оценка деградиционных механизмов или специфических воздействий, таких как эрозия, коррозия, растрескивание под действием окружающей среды, гидравлический удар, много \square и малоцикловая усталость, вибрация, стратификация, температурная флуктуация, старение, ползучесть, хрупкое разрушение. Общая оценка повреждаемости. Обеспечение назначенного или переназначенного срока службы ЯЭУ. Рассмотрение и оценка прямых и косвенных воздействий от внешних и внутренних событий с учетом человеческого фактора. Обобщение накопленного опыта эксплуатации схожих ЯЭУ. Адекватность применяемых на АЭС профилактических и компенсирующих мер.

Комбинация и суммирование нагрузок. Классификация напряжений на «первичные» и «вторичные». Анализ аварийных и специфических нагрузок. Определение нормальной и максимальной расчетной нагрузки. Применяемые на практике расчетные процедуры. Их описание, цели, совпадающие элементы и различия. Особенности, коэффициенты запаса и критерии выбора. Дополнительные возможности обоснования выполнения условий ТПР. Анализ чувствительности и неопределённостей. Вероятностный анализ ТПР. Принцип "худшего случая". Постулируемый расход и постулируемая сквозная трещина. Расчет площади течи. Методы анализа стабильности трещины. Технические рекомендации. Учет остаточных напряжений.

	Верифицированные методы механики разрушения и критерии оценки. Рекомендуемые программные средства. Расчетные критерии ТПР. Исходные данные для расчета. База данных по материалам. Анализ и оценка напряжений. Характеризация дефектов. Чувствительность СОТ.			
9-16	Методы анализа стабильности, циклического и коррозионно-статического роста трещин. Порядок проведения расчетов, экспериментальное подтверждение, практическое применение методологии.	4	12	0
9 - 16	Методы анализа стабильности, циклического и коррозионно-статического роста трещин. Порядок проведения расчетов, экспериментальное подтверждение, практическое применение методологии. Три уровня методов механики разрушения: 1) Инженерные методы анализа потери несущей способности компонент с трещинами при вязком разрушении; 2) Инженерные методы, учитывающие не полную пластичность ослабленного сечения, включая двухкритериальные оценки опасности разрушения; 3) Методы упругопластической механики разрушения, основанные на расчете или оценке J/T-интеграла с использованием JR – кривых. Представление, описание и критерии выбора метода расчета. Численные и аналитические методы оценки J-интеграла. Формирование групп циклов нагружения. Диаграмма циклического роста трещины, её описание для различных конструкционных материалах и сред заданных параметров. Процедура расчета циклического роста начального дефекта. Оценка коррозионно-статического роста трещины. Цель расчета. Этапы расчета. Определение формы трещины после превращения поверхностной трещины в сквозную. Расчет площади раскрытия сквозной трещины. Определение расхода рабочей среды через сквозную трещину и длины трещины для расчетного и постулируемого расхода истечения рабочей среды. Морфологические параметры трещин различной природы. Истечение двухфазного пароводяного потока. Расчет массового расхода насыщенного пара через сквозную трещину. Общие технические рекомендации. Принцип “худшего случая”. Процедура, основанная на постулировании сквозной трещины. Процедура, анализирующая развитие формы дефекта. Выбор расчетной процедуры. Описание метода, его преимущества. Процедура построения граничных расчетных кривых. Оценки пригодности системы трубопроводов расчетным критериям ТПР. Цели верификационных процедур Экспериментальные	Всего аудиторных часов		
		4	12	0
		Онлайн		
		0	0	0

<p>программы по обоснованию ТПР. Конструкционные испытания на разрушение крупномасштабных моделей. Испытания по определению расходов теплоносителя. Необходимость дальнейших испытаний. Нормативные требования. Классификация течей. Методы контроля и обнаружения течи. Технические требования. Разработка и применение на действующих РД ЭО. Системы трубопроводов действующих АЭС с реакторами ВВЭР и РБМК, потенциально пригодные для внедрения концепции ТПР. Трубопроводы и компоненты на индивидуальной основе. Применение ТПР в проектах новых АЭС с ВВЭР-1000/1200.</p>			
--	--	--	--

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 - 16	<p>Темы практических занятий</p> <ul style="list-style-type: none"> • изучение нормативных документов Ростехнадзора, рекомендованных лектором; • изучение руководящих документов Эксплуатирующей организации, рекомендованных лектором; • изучение технической литературы, рекомендованной лектором. • ознакомление с аттестованными программными средствами; • ознакомление с вычислительными программами, рекомендованными лектором.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины «Концепция безопасности течь перед разрушением» используются различные образовательные технологии:

- во время аудиторных занятий занятия проводятся в форме лекций и практических примеров реализации методологии ТПР в атомной энергетике;

- для контроля усвоения магистрами разделов данного курса используется Домашнее задание, вопросы при приеме которого позволяют судить об усвоении магистром данного курса, и семестровый контроль;
- самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием действующей нормативно-правовой и технической документации при выполнении Домашнего задания и подготовке к зачету/экзамену по дисциплине.

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)
ОПК-2	З-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-14	З-ПК-14	Э
	У-ПК-14	Э
	В-ПК-14	Э
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-6.3	З-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-16
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э
	У-УКЦ-2	Э
	В-УКЦ-2	Э

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 Ф 45 Материаловедение и технология материалов в 2 ч. Часть 1 : учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2020
2. ЭИ Ф 45 Материаловедение и технология материалов в 2 ч. Часть 2 : учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2020
3. ЭИ 3-91 Основы надежности машин и сложных систем : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
4. ЭИ Я 29 Теоретические основы расчетных зависимостей для сварных узлов трубчатых конструкций : монография, Санкт-Петербург: Лань, 2022

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.2 Основы материаловедения, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
2. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.3 Методы исследования структурно-фазового состояния материалов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
3. ЭИ Ф50 Физическое материаловедение Т.6 Ч.1: Конструкционные материалы ядерной техники, , Москва: МИФИ, 2008

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

Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала и материала семинарских занятий, а также выполнение Домашнего задания и подготовке к зачету по дисциплине.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература. Чтение лекций и проведение семинарских занятий рекомендуется проводить в дисплейных классах. Сложные и многочисленные расчеты не должны затенять сути излагаемых методов. 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 проверки и закрепления практических навыков студентам предлагается выполнить индивидуальные домашние задания.

Автор(ы):

Солдатов Алексей Анатольевич, д.ф.-м.н.

Филимонов Сергей Васильевич

Рецензент(ы):

профессор Ю.Б. Иванов