

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

ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ (FRACTURE MECHANICS)

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
1	4	144	16	16	0		76	0	Э
Итого	4	144	16	16	0	8	76	0	

АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- введение студентов в круг понятий, представлений и моделей, используемых при построении критериальных соотношений для установления устойчивых и неустойчивых состояний тела с трещиной при статическом и циклическом нагружении;
- представление общих методов расчета на прочность элементов конструкций содержащих трещины;
- подготовка студентов для изучения последующих курсов (прочность поврежденных тру-бопроводов, прочность элементов конструкций ядерных установок, экспериментальных методов определения деформаций и напряжений).

Задачи дисциплины:

- изучение основных законов, понятий и определений механики развития трещин в деформируемом твердом теле;
- построение критериев разрушения твердого упругого и упругопластического тела с трещиной (элемента конструкции) при воздействии на него силовых постоянных и переменных нагрузок;
- овладение методами расчета прочности элемента конструкции с трещиной;
- построение решений различных задач линейной и нелинейной механики разрушения.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины состоит в изучении основ механики развития магистральных трещин, ознакомлении с критериями разрушения континуального тела, с методами расчета прочности тел с трещинами, с методами экспериментального исследования роста трещин и экспериментального определения характеристик трещиностойкости конструкционных материалов.

Задача изучения дисциплины. заключается в приобретении будущими выпускниками и научными работниками знаний и навыков проведения расчетов на прочность тел с трещинами с определением разрушающих нагрузок, критических и допустимых длин трещин, знаний для обоснования выбора материала конструкций с учетом свойств трещиностойкости, в понимании основных причин и критериев разрушения. Кроме того, эти знания должны подготовить студентов к усвоению последующих дисциплин, связанных с расчетами на прочность и долговечность в соответствии с квалификационными характеристиками специальностей факультета технической физики, экономики и высоких технологий.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины:

1. Математический анализ;
2. Сопротивление материалов и физика прочности;
3. Инженерные расчеты на прочность;
4. Теория упругости.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
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, технологии 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 атомной энергии.	Ядерные энерготехнологии нового поколения; 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	ПК-6.3 [1] - Способен к самостоятельному решению вопросов, связанных с разработкой и применением современных методов измерений и контроля параметров напряженно-деформированного состояния материалов и элементов конструкций ядерных энергетических установок. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-6.3[1] - Знать структуру и основные положения 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

	безопасности.		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.
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	Ядерные энерготехнологии нового поколения; 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.	ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-13[1] - Знать математические методы и компьютерные технологии, необходимые для проектирования и разработки программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. ; У-ПК-13[1] - Уметь разрабатывать и тестировать программное обеспечение для инженерного анализа инновационных продуктов.; В-ПК-13[1] - владеть навыками разработки и тестирования программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов.

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>1 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/8/0		25	КИ-8	3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Второй раздел	9-16	8/8/0		25	КИ-16	3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 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.,	Пр./сем.,	Лаб.,
--------	---------------------------	-------	-----------	-------

		час.	час.	час.
	<i>1 Семестр</i>	16	16	0
1-8	Первый раздел	8	8	0
	Теоретическая механика разрушения. Теоретическая механика разрушения. Предмет механики разрушения. Виды нарушения прочности. Хрупкое, квазихрупкое и вязкое разрушение. Масштабные соотношения при разрушении. Диаграмма оценки разрушения в зависимости от температуры. Краткий исторический обзор.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
	Напряженное состояние около вершины трещины (6 часов) Напряженное состояние около вершины трещины (6 часов) Типы смещений краев трещины. Принцип суперпозиции в задачах теории трещин. Асимптотические формулы для напряжений и перемещений около вершины трещины. Коэффициент интенсивности напряжений.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
	Коэффициент интенсивности напряжений (6 часов) Коэффициент интенсивности напряжений (6 часов) Способы приближенного расчета коэффициентов интенсивности напряжений. Примеры расчета. Начальное направление распространения трещины. Таблица коэффициентов интенсивности напряжений для некоторых схем образцов с трещиной.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
	Линейная механика разрушения (6 часов) Линейная механика разрушения (6 часов) Предельное состояние равновесия. Критерий Гриффитса, Ирвина, Сандерса. Эквивалентность энергетического и силового критериев разрушения. Интегральный энергетический критерий разрушения. Устойчивое и неустойчивое состояние тела с трещиной.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Второй раздел	8	8	0
	Пластическая зона у вершины трещины (6 часов) Пластическая зона у вершины трещины (6 часов) Схема развития пластических зон при растяжении тонкой стальной пластины. Пластические зоны при растяжении полосы с центральными и боковыми разрезами при плоском напряженном состоянии и плоской деформации. Пластическая поправка Ирвина. Зависимость критического коэффициента интенсивности напряжений от толщины образца.. Нелинейная механика разрушения (6	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	часов)			
	Нелинейная механика разрушения (6 часов) Нелинейная механика разрушения (6 часов) Модель трещины Леонова, Панасюка. Обобщенная задача Гриффитса. Энергетический инвариантный интеграл. Диаграмма трещиностойкости и предел трещиностойкости. Докри-тический рост трещины. Кривые сопротивления росту трещины. Циклическое нагружение тела с трещиной. Примеры расчетов по разным критериям разрушения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
	Методы измерения длины трещины и их возможности (6 часов). Методы измерения длины трещины и их возможности (6 часов). Задачи экспериментальной механики разрушения. Диаграммы разрушения. Особенности измерения длины и скорости трещин. Классификация методов измерения длины и скорости трещин. Принципы построения приборов для измерения длины и раскрытия трещин. Оптические методы. Методы упругой податливости. Ультразвуковые методы, метод разности электрических потенциалов. Магнитные методы. Метод сигнальных датчиков. Фрактографические методы. Градуировка приборов для измерения длины трещины. Образец как первичный измерительный преобразователь. Измерение распространения трещин на фоне больших пластических деформаций.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
	Методы измерения раскрытия трещин (3 часа). Методы измерения раскрытия трещин (3 часа). Прямые и косвенные методы измерения раскрытия. Датчики раскрытия. Измерение раскрытия методом сдвоенного датчика.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины используются различные образовательные технологии:

- во время аудиторных занятий занятия проводятся в форме лекций (с визуализацией) и практических (семинарских) занятий;
- для контроля усвоения студентом разделов данного курса используются Домашнее задание, вопросы при приеме которого позволяют судить об усвоении студентом данного курса, и семестровый контроль;
- самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы.

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-13	З-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-13	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, 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:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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

Студент по лекционному и семинарскому материалу готовится к аттестации рубежного контроля.

Срок аттестации - 8 неделя.

Срок аттестации - 16 неделя.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Методические материалы для преподавателя по освоению дисциплины – это свод указаний, обеспечивающих навигацию преподавателя в процессе преподавания дисциплины, раскрывающих средства, методы, приемы, формы обучения студентов.

Методические материалы нацелены на обеспечение эффективности учебного процесса по освоению дисциплины.

Предлагаемые методические материалы предназначены для преподавателей вне зависимости от этапа обучения для соблюдения преемственности в выборе методов, приемов, форм и средств обучения. При необходимости материалы могут быть дополнены и скорректированы в зависимости от следующих факторов:

- особенностей студентов, входящих в учебную группу;
- условий обучения (например, увеличения часов на самостоятельную работу);
- изменения целей обучения и т.д.

Учебная дисциплина является одним из основных специальных теоретических курсов.

Основная задача дисциплины состоит в том, чтобы дать представление:

- об основных законах, понятиях и определениях механики деформируемого твердого тела, содержащего трещины, при статическом изотермическом нагружении;
- о построении критериев разрушения тел с трещинами, предназначенными для описания докритического и критического роста трещин в образцах и деталях с трещинами;
- об использовании экспериментальных методов определения сопротивления материалов росту трещин с определением характеристик трещиностойкости материалов, ставящих своей задачей обеспечение прочности элемента конструкции, с гарантией об отсутствии хрупкого и вязкого разрушения конструкционного элемента в пределах заданных сроков службы.

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- введение студентов в круг понятий, представлений и моделей, используемых при построении математического аппарата расчетного исследования напряженно-деформированного состояния в сплошном твердом деформируемом теле с трещинами при воздействии на него силовых и/или температурных нагрузок;
- математическое описание процесса определения коэффициентов интенсивности напряжений первого, второго и третьего типов деформирования тел с трещинами;
- математическое описание процесса разрушения при хрупком и вязком статическом изотермическом нагружении;
- анализ прочности и разрушения деталей с трещинами и прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов, и времени до разрушения с использованием критериев разрушения при статическом и циклическом нагружении.

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин:

- сопротивление материалов;
- теоретическая механика. Теория упругости;
- теория пластичности.

Данная дисциплина является базой для освоения следующих курсов:

- расчет на прочность элементов активной зоны ЯЭУ ;
- моделирование физических свойств материалов активной зоны ЯЭУ;
- экспериментальные методы исследования прочностных характеристик ЯЭУ;
- методы исследования реакторных материалов.

Знание материалов данной дисциплины необходимо при выполнении УИР и, выпускной квалификационной работы, а также при работе выпускников по специальности

В результате освоения дисциплины студент должен знать, уметь объяснить и реализовать, владеть или быть в состоянии продемонстрировать:

- построение расчетной модели тела и определяющих уравнений и критериев механики разрушения при статическом однократном нагружении;
- общие схемы и методы решения задач механики разрушения;
- определяющие уравнения критериального подхода и моделей накопления повреждений при оценке остаточного ресурса;
- решения некоторых задач механики разрушения.

1 Раздел 1. Способы приближенного расчета коэффициентов интенсивности напряжений. Примеры расчета. Предельное состояние равновесия. Критерий Гриффитса, Ирвина. Эквивалентность энергетического и силового критериев разрушения. Интегральный энергетический критерий разрушения.

2 Раздел 2. Пластическая зона у вершины трещины. Пластическая поправка Ирвина. Зависимость критического коэффициента интенсивности напряжений от толщины образца. Модель трещины Леонова, Панасюка. Энергетический инвариантный интеграл. Диаграмма трещиностойкости и предел трещиностойкости.

При изложении курса, прежде всего, необходимо напомнить студентам основы механики твердого деформируемого тела. Дать основные исторические сведения о развитии научных представлений о разрушении твердых тел. Классический подход к расчету твердых тел на прочность исходит из предположения, что предельное состояние наступает в сплошном теле. Однако реальное тело практически всегда содержит дефект. Это приводит к недостаточности расчетов прочности классическими методами согласно принятым гипотезам прочности. В таких случаях следует привлекать методы механики разрушения, которая исходит из предположения о наличии в элементе конструкции дефекта, в частности, в виде трещины.

Механика развития трещин связана с изучением законов разделения кристаллического или континуального тела на части под действием механических усилий или иных внешних причин. Существуют следующие основные виды разрушения – хрупкое, вязкое и смешанное. Переход к изложению материала о разрушении твердых тел следует начать с определений, принятых в механике разрушения. Следует остановиться на общих подходах к расчету тел с трещинами. Методы теории упругости и пластичности позволяют решать задачи о напряженно-деформированном состоянии тел с трещинами-разрезами, когда в получаемые решения размер разреза входит в виде параметра. Для установления связи внешних усилий с размером разреза к решению задачи необходимо добавить дополнительное условие – критерий разрушения.

Критерий разрушения позволяет установить внешние напряжения, при которых разрез переходит в трещину, т.е. начнет распространяться. При этом состояние тела называется критическим или предельным. Формулировка критериев разрушения может быть основана как на локальных подходах, связанных с анализом критического состояния локальных областей у вершины трещины, так и глобальных подходах, предусматривающих анализ критического состояния тела в целом. Следует рассмотреть конкретные задачи по определению коэффициентов интенсивности напряжений, критических состояний и рассчитать число циклов до разрушения, в случае циклического нагружения.

При реализации программы дисциплины «Механика разрушения» используются различные образовательные технологии:

- во время аудиторных занятий (30 часов) занятия проводятся в форме лекций и семинаров;

- для контроля усвоения студентом разделов данного курса используется устный опрос, ответы, при приеме которого позволяют судить об усвоении студентом данного курса, и семестровый контроль.

Автор(ы):

Морозов Евгений Михайлович, д.т.н., профессор