

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

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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
2	4	144	15	30	0		63	0	Э
Итого	4	144	15	30	0	16	63	0	

АННОТАЦИЯ

Вероятностные методы оценки прочностной надежности конструкций энергетического оборудования.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Надежность технических систем» являются:

- введение студентов в круг понятий, представлений и моделей, используемых при построении математического аппарата для расчетного обеспечения прочностной надежности элементов конструкций энергетического машиностроения;
- представление общих методов расчетно-экспериментального исследования показателей надежности элементов конструкций;
- формирование подходов для изучения последующих разделов механики деформируемого твердого тела, следующих за изучаемым.

Задачи дисциплины:

- изучение основных законов, понятий и определений о прочностной надежности сложных технических систем;
- построение математического аппарата расчетного определения вероятности безотказной работы элемента конструкции, при воздействии на него силовых и/или температурных нагрузок;
- овладение методами расчетно-экспериментального определения вероятности отказа элемента конструкции;
- построение решений различных задач по надежности технических систем.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная учебная дисциплина входит в образовательный модуль М2+. ФГОС-3 по направлению подготовки ВПО «14.04.02. Ядерные физика и технологии» и по магистерской программе «Физика прочности».

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин ООП подготовки бакалавра по направлению «14.03.02. Ядерные физика и технологии» по бакалаврской программе «Физика прочности»:

- теоретическая механика. Теория упругости;
- теория пластичности;
- механика разрушения.

Знание материалов данной дисциплины необходимо при выполнении УИР и дипломного проектирования, а также при практической работе выпускников по специальности.

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 безопасности.	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 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-6.4 [1] - Способен освоить специальные знания и практические навыки в области регулирования и обоснования безопасности объектов использования атомной энергии и ядерного наследия. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-6.4[1] - Знать основы государственной политики Российской Федерации в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.; У-ПК-6.4[1] - Уметь делать анализ объектов использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.; В-ПК-6.4[1] - Владеть компетенциями связанными с содействием в реализации международных обязательств Российской Федерации по формированию инфраструктуры регулирования безопасности в странах, выступающих заказчиками сооружения АЭС по российским проектам, в части формирования и развития компетенций персоналом

			национальных органов регулирования безопасности при использовании атомной энергии и их организаций научно-технической поддержки.
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-6.4, У-ПК-6.4, В-ПК-6.4, В-УКЦ-2, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2
2	Второй раздел	9-15	7/14/0		25	КИ-15	3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-6.4, У-ПК-6.4, В-ПК-6.4, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э, Э	У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-6.4, У-ПК-6.4, В-ПК-6.4, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2, 3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3,

							3-ПК-6.4, У-ПК-6.4, В-ПК-6.4, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2, 3-ПК-6.3
--	--	--	--	--	--	--	---

* – 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>2 Семестр</i>	15	30	0
1-8	Первый раздел	8	16	0
1	Введение. Повреждения и эксплуатационные разрушения трубопроводов. Введение. Повреждения и эксплуатационные разрушения трубопроводов. Условия работы металла в трубопроводах. Дефекты в трубопроводах и этапы процесса разрушения трубопровода.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		1	2	0
2	Критерии и методы оценки трещиностойкости сталей. Критерии и методы оценки трещиностойкости сталей. Критерии линейной и нелинейной механики разрушения. Экспериментальное определение параметров статической трещиностойкости сталей трубопроводов. Использование критериев механики разрушения для оценки допустимых и критических размеров трещин в трубопроводах.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		1	2	0
3	Инженерные методы оценки сопротивления трубопроводов разрушению. Инженерные методы оценки сопротивления трубопроводов разрушению. Методы оценки сопротивления хрупкому разрушению. Методы оценки сопротивления вязкому и квазихрупкому разрушениям.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		1	2	0
4	Расчетно-аналитический метод исследования поведения тела с трещиной при статическом нагружении. Расчетно-аналитический метод исследования поведения тела с трещиной при статическом нагружении.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		1	2	0

	Энергетический критерий разрушения и докритический рост трещины. Методы расчета на-пряженно-деформированного состояния тела с трещиной с определением параметров механики разрушения. Расчетное построение диаграмм разрушения тел с трещинами.			
5	Расчет трубопровода, содержащего сквозную продольную трещину. Расчет трубопровода, содержащего сквозную продольную трещину. МКЭ-расчет коэффициента интенсивности напряжений (КИН) для участков трубопровода. Диаграммы разрушения и условия разрушения участков трубопровода. Оценка течи трубопровода по раскрытию трещины. Влияние упругопластического деформирования материала на течь и разрушение трубопровода.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		1	2	0
6	Расчет трубопровода, содержащего поверхностную продольную трещину. Расчет трубопровода, содержащего поверхностную продольную трещину. МКЭ-моделирование поверхностной трещины и расчет КИН. Условия разрушения и течи для прямого участка трубопровода. Сводная диаграмма разрушения.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		1	2	0
7	Расчет трубопровода, содержащего кольцевые (сквозные и поверхностные) трещины. Расчет трубопровода, содержащего кольцевые (сквозные и поверхностные) трещины. Особенности схемы нагружения и результаты МКЭ-расчета КИН для участков трубопровода. Расчетное построение диаграмм разрушения и условия разрушения участков трубопровода.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		1	2	0
8	Расчет зоны соединения трубопровода с патрубком корпуса реактора, содержащей кольцевые трещины. Расчет зоны соединения трубопровода с патрубком корпуса реактора, содержащей кольцевые трещины. Особенности расчета зоны соединения трубопровода и патрубка корпуса реактора при темпе-ратурном нагружении. Сведение поставленной задачи к задаче о прямом участке трубопровода. Определение КИН. Условия разрушения и течи.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		1	2	0
9-15	Второй раздел	7	14	0
9 - 12	Инженерные методы оценки трещиностойкости трубопроводов при упругопластическом деформировании. Инженерные методы оценки трещиностойкости трубопроводов при упругопластическом деформировании. Обзор и сравнение инженерных методов оценки сопротивления разрушению элементов конструкций при упругопластическом деформировании. Численный расчет	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		4	8	0

	и аналитическая аппроксимация результатов расчета упругопластического J-интеграла для некоторых элементов конструкций. Методика приближенной оценки упругопластического J-интеграла при термостатическом нагружении и ее использование при расчете трубопроводов.			
13 - 15	Расчеты трубопроводов ЯЭУ на основе концепции “течь перед разрушением”. Расчеты трубопроводов ЯЭУ на основе концепции “течь перед разрушением”. Основные этапы расчета. Нормативные методики и их применение. Экспериментальная проверка концепции “течь перед разрушением”.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		3	6	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:

- во время аудиторных занятий (45 часов) занятия проводятся в форме лекций (с визуализацией) и семинаров;
- для контроля усвоения студентом разделов данного курса используется коллоквиум, ответы при приеме которого позволяют судить об усвоении студентом данного курса и семестровый контроль;
- самостоятельная работа студентов (63 часа) 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-6.3	З-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6.3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-6.4	З-ПК-6.4	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6.4	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6.4	Э, КИ-8, КИ-15
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15

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»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	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»	F	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 Ш 65 Надежность технических систем : учебник для вузов, Шишмарёв В. Ю., Москва: Юрайт, 2022
2. 62 Х38 Надежность технических систем и оценка риска : , Хенли Э.Дж., Кумамото Х., М.: Машиностроение, 1984
3. ЭИ Т 41 Надежность технических систем и техногенный риск : учебник и практикум для вузов, Тимошенков С. П., Москва: Юрайт, 2022
4. ЭИ Д 69 Обеспечение надежности сложных технических систем : учебное пособие, Керножицкий В. А. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К72 Надежность технических систем и управление риском : учебное пособие для вузов, Костерев В.В., Москва: МИФИ, 2008
2. 539.3 М80 Прочностная надежность технических систем : , Морозов Е.М., Сапунов В.Т., М.: МИФИ, 2001

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

При реализации программы дисциплины «Надёжность технических систем» используются раз-личные образовательные технологии:

- во время аудиторных занятий (45 час) занятия проводятся в форме лекций и практических (се-минарских) занятий;
- для контроля усвоения студентом разделов данного курса используется семестровый контроль с вопросами, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса;

– самостоятельная работа студентов (63 часов) подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы.

Темы практических (семинарских) занятий:

- ☐ Элементы теории вероятностей и математической статистики.
- ☐ Элементы теории случайных функций.
- ☐ Расчет ресурса на основе разных видов распределений.
- ☐ Системная и физическая надежности.
- ☐ Безопасность машин и эксплуатационная надежность.

Задания для самостоятельной работы

Тема: Расчет вероятности сложной системы по вероятностям безотказной работы её элементов.

Контроль:

- семинарское занятие на 7-ой неделе;
- семестровый контроль

Тема: Определение графическим методом вероятности безотказной работы конструкции по заданной выборке результатов эксперимента.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

а) ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Морозов Е.М., Сапунов В.Т. Прочность и надежность материалов и конструкций. Учебное пособие. М.: МИФИ, 2000.
2. Морозов Е.М., Сапунов В.Т. Прочностная надежность технических систем. Учебное пособие. М.: МИФИ, 2001.
3. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Т.1 (в 2-х томах). М.: Машиностроение, 1974.

б) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. М.: Высшая школа, 1988.
2. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник. М.: Машиностроение, 1985.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Курс начинается с изложения основных определений и принятой терминологии. Следует обратить внимание, что среди возможных принципов определения прочностной надежности и ресурса (долговечности) конструкции, наряду с детерминистическими, существуют вероятностные методы. Это определяется тем, что многие величины (нагрузки, размеры и т.п.),

участвующие в расчетах случайные. Поэтому их можно описать статистическими методами. Прочностную надежность можно количественно определить в виде вероятности безотказной работы P . Вероятность отказа Q соответствует противоположному событию, поэтому их сумма равна единице. В эксплуатации, с течением времени, из-за многих, скрытых от нас факторов, возможность нарушения прочности нарастает, и вероятность безотказной работы падает. При этом вероятность отказа со временем увеличивается. Прочность конструкции (детали) с определенной вероятностью сохраняется при условии, что вероятность безотказной работы не должна быть меньше допускаемой вероятности, аналогично допускаемому напряжению в сопротивлении материалов. Все параметры, определяющие прочность конструкции являются случайными величинами. Построение плотности распределения максимального напряжения в конструкции основная задача при оценке её прочностной надежности. Критериальным параметром, определяющим прочность детали есть случайная функция многих случайных аргументов. Следует обратить внимание на методы определения математического ожидания и дисперсии случайной функции для последующего определения вероятности безотказной работы. Необходимо дать вывод уравнения связи для определения квантиля в случае нормального распределения случайной величины, в качестве которой выступает вероятность безотказной работы. Обратить внимание студентов на пределы интегрирования в общем выражении вероятности безотказной работы конструкции.

При реализации программы дисциплины «Надежность технических систем» используются различные образовательные технологии:

- во время аудиторных занятий (45 час) занятия проводятся в форме лекций и практических (семинарских) занятий;
- для контроля усвоения студентом разделов данного курса используется семестровый контроль с вопросами, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса;
- самостоятельная работа студентов (63 часов) подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы.

Темы практических (семинарских) занятий:

- расчет частоты и интенсивности отказов по экспериментальным данным;
- определение надежности системы по надежности ее элементов;
- оценка надежности машин по результатам испытаний;
- вероятность разрушения при заданном запасе прочности.

Задания для самостоятельной работы

Тема: Определение вероятности безотказной работы конструкций из последовательно, параллельно и сложно соединенных элементов.

Контроль:

- семинарское занятие на 7-ой неделе;
- семестровый контроль

Тема: Графический метод определения вероятности безотказной работы конструкции.

В помощь лектору, а также преподавателям, ведущим практические занятия по курсу «Надежность технических систем» рекомендуется использовать следующие учебные пособия, методические и справочные материалы.

1. Морозов Е.М., Сапунов В.Т. Прочность и надежность материалов и конструкций. Учебное пособие. М.: МИФИ, 2000.
2. Морозов Е.М., Сапунов В.Т. Прочностная надежность технических систем. Учебное пособие. М.: МИФИ, 2001.

3. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Т.1 (в 2-х томах). М.: Машиностроение, 1974.

В качестве вспомогательной литературы при необходимости возможно использовать:

1. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. М.: Высшая школа, 1988.

2. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник. М.: Машиностроение, 1985.

Автор(ы):

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