

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 29 » ноября 20 19 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Теоретическое и экспериментальное исследование долговечности
оборудования
_____ (наименование)

Форма обучения: _____ очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: _____ магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: _____ 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____ 15.04.01 Машиностроение
(код и наименование направления)

Направленность: _____ Конструирование и надежность оборудования
машиностроительных производств
_____ (наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины «Теоретическое и экспериментальное исследование долговечности оборудования» – формирование комплекса знаний и представлений о современных направлениях повышения долговечности деталей промышленного оборудования, формирование умений проводить теоретическое и экспериментальное исследование различных видов разрушения промышленного оборудования.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение современных теорий, позволяющих оценивать прочность и прогнозировать долговечность промышленного оборудования; изучение основных механизмов разрушения, возникающих в конструкциях;
- формирование умений выполнять выбор необходимой упрочняющей обработки деталей и узлов машин;
- формирование навыков конструирования и разработки промышленного оборудования на основе знаний в области механики разрушения и современных методов повышения долговечности изделий.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- виды разрушения оборудования;
- усталостные явления в конструкциях;
- износ и фреттинг-коррозия элементов оборудования;
- способы повышения долговечности оборудования и его элементов.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-1ПК-1.1	- знает основы методы планирования и организации научно-исследовательских работ по исследованию прочности элементов оборудования; - знает основные механизмы разрушения, возникающие в конструкциях; - знает классические теории прочности и критерии пластичности; - знает виды упрочняющей обработки, повышающие усталостную прочность и износостойкость деталей машин.	Знает основы планирования научно-исследовательских работ по исследованию перспективных технологических процессов и материалов;	Зачет
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	- умеет координировать работу по оценке усталостных явлений, происходящих в материале конструкций необходимых для производства новых продуктов и обеспечения новых потребительских требований к продукции; - умеет координировать работу по оценке технологий упрочняющей обработки деталей и узлов машин; - умеет координировать работу и применять соответствующие теории прочности при проектировании элементов конструкций и узлов оборудования.	Умеет координировать работу по оценке технологий и материалов, необходимых для производства новых продуктов и обеспечения новых потребительских требований к продукции	Зачет
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	- владеет навыками планирования и координации экспериментального исследования прочности материалов и элементов оборудования; - владеет теоретическими и экспериментальными навыками оценки	Владеет навыками планирования и координации научно-исследовательских работ	Зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		долговечности элементов оборудования; - владеет конструкторскими и технологическими методами повышения долговечности изделия; - владеет навыками конструирования и разработки промышленного оборудования на основе знаний в области механики разрушения и современных методов повышения долговечности изделий.		

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	34	34	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	90	90	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
1-й семестр				
Механические свойства материалов и виды разрушений.	6	0	10	15
<p>Тема 1. Механические свойства конструкционных материалов.</p> <p>Классификация материалов. Виды стандартных испытаний материалов. Диаграммы деформирования различных материалов: диаграмма растяжения, условная диаграмма растяжения, диаграмма сжатия, диаграмма чистого сдвига. Хрупкие и пластичные материалы. Основные характеристики прочности, упругости и пластичности материала. Закон разгрузки и повторной нагрузки. Деформационное упрочнение. Эффект Баушингера. Влияние различных факторов на механические характеристики материалов.</p> <p>Тема 2. Схематизация диаграммы деформирования материала.</p> <p>Понятие материальной функции. Диаграмма Прандтля (идеального упруго-пластичного материала). Диаграмма деформирования идеального жёстко-пластичного материала. Полное и частичное описание диаграммы деформирования. Схематизация участков линейной и нелинейной упругости, диаграммы с площадкой текучести и без площадки текучести, с линейным упрочнением, степенным упрочнением, без упрочнения. Аппроксимация во всём интервале изменения деформаций только степенной функцией. Представление в виде диаграммы с бесконечно большим модулем упругости.</p> <p>Тема 3. Виды и механизмы разрушений.</p> <p>Хрупкое и пластичное разрушение. Разрушение путём отрыва, смятия и сдвига. Основные случаи наступления предельных состояний в конструкциях: постепенное накопление рассеянных повреждений, приводящих зарождению и развитию микроскопических трещин; чрезмерный износ трущихся деталей. Механическое повреждение деталей: трещины, выкрашивание, поломки, задиры, эрозия. Износ и химико-тепловые повреждения: абразивный износ, усталостное выкрашивание, кавитационное изнашивание, водородное изнашивание, коррозия и коррозионная усталость.</p> <p>Классификация дефектов промышленного оборудования: пробоины, трещины, деформации, износ, питтинг.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Усталостная прочность и циклическая долговечность материалов и конструкций.	4	0	10	25
<p>Тема 4. Усталость материалов и элементов конструкций.</p> <p>Явление усталости. Малоцикловая, многоцикловая и гигацикловая усталость. Характер усталостного разрушения. Природа усталостного разрушения, статистическая гипотеза Н.Н. Афанасьева.</p> <p>Характеристики циклов. Механические характеристики сопротивления усталости, диаграммы усталости. Физический и условный пределы выносливости. Циклическая долговечность. Диаграмма предельных амплитуд и её схематизация.</p> <p>Влияние различных факторов на сопротивление усталости: конструкционных факторов, качества поверхности, размеров детали.</p> <p>Тема 5. Методика экспериментального определения характеристик сопротивления усталости.</p> <p>Классификация усталостных машин и видов нагружения. Образцы, используемые для испытаний.</p> <p>Основные методики построения диаграммы усталости: метод пробитов, метод лестницы, метод пристрелки. Выбор базы испытаний. Выбор числа образцов. Статистическая обработка результатов испытаний. Способы представления и математического описания кривых усталости.</p> <p>Истинная, логарифмическая и полулогарифмическая система координат. Средневероятностная диаграмма усталости и семейство кривых разной вероятности разрушения. Малоцикловая усталость, петля гистерезиса. Жёсткое и мягкое нагружение.</p> <p>Тема 6. Коррозионная усталость.</p> <p>Диаграммы усталости в коррозионной среде, на воздухе и в вакууме. Отличия коррозионной усталости от усталости на воздухе. Гипотезы природы коррозионно-усталостного разрушения: электрохимическая гипотеза разрушения Л.А. Гликмана, А.В. Рябченкова; коррозионно-механическая гипотеза разрушения В.В. Романова; адсорбционно-электрохимическая гипотеза коррозионной усталости Г.В. Карпенко.</p> <p>Тема 7. Контактная усталость, фреттинг и износ элементов оборудования.</p> <p>Контактная усталость, образование микротрещин и процесс выкрашивания. Фреттинг-коррозия в конструкциях, условия возникновения фреттинг-коррозии. Механизм изнашивания металлических поверхностей при фреттинг-коррозии. Факторы, влияющие на закономерности фреттинг-коррозии:</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
амплитуда нагружения, контактное давление, окружающая среда. Проявление процесса фреттинг-коррозии в деталях и конструкциях: натирь, налипание, выровы, раковины.				
Методы оценки прочности элементов оборудования.	4	0	6	25
<p>Тема 8. Классические теории прочности и критерии пластичности.</p> <p>Понятие эквивалентного напряжения. Равноопасные напряженные состояния. Коэффициент запаса прочности. Предельное состояние. Теория наибольших нормальных напряжений (1-я теория прочности). Теория наибольших линейных деформаций (2-я теория прочности). Теория наибольших касательных напряжений (критерий пластичности Треска – Сен-Венана). Теория удельной потенциальной энергии формоизменения (критерий пластичности Мизеса – Губера – Геста). Теория прочности О. Мора (5-я теория прочности).</p> <p>Тема 9. Оценка прочности конструкций на основе линейной механики разрушения.</p> <p>Основы механики разрушения. Проблема оценки прочности тел с трещинами. Теория Гриффитса. Интенсивность освобожденной энергии.</p> <p>Напряженное состояние вблизи вершины трещины. Коэффициенты интенсивности напряжений. Связь между интенсивностью освобожденной энергии и коэффициентом интенсивности напряжений. Оценка размеров и формы пластической зоны. Критерий хрупкого разрушения. Характеристики статической трещиностойкости. Характеристики циклической трещиностойкости. Экспериментальное определение характеристик трещиностойкости. Область применимости теории Гриффитса.</p> <p>Тема 10. Оценка прочности конструкций на основе механики рассеянных повреждений.</p> <p>Понятие поврежденности. Интеграл Бейли. Флуктуационная кинетическая теория прочности. Критерий Качанова – Работнова – Москвитина. Принцип линейного суммирования повреждений. Кинетические уравнения поврежденности. Термофлуктуационные кинетические теории прочности. Критерий Г.М. Бартенева. Энтропийный критерий Э.Э. Лавендела.</p> <p>Тема 11. Неразрушающие экспериментальные методы оценки прочности деталей.</p> <p>Магнитные методы, капиллярная дефектоскопия, метод вихревых токов, радиографический контроль, ультразвуковые методы,</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
виброакустическая диагностика, голографические методы оценки технического состояния элементов машин, оценка по изменению параметров сопряженной детали, оценка по изменению показателей функционирования. Оптический метод определения напряжений при помощи прозрачных моделей, рентгеновский метод определения напряжений, метод муаровых полос, метод лаковых покрытий.				
Научные основы повышения долговечности оборудования и его элементов.	4	0	8	25
<p>Тема 12. Конструктивные способы повышения долговечности оборудования.</p> <p>Показатели долговечности оборудования: ресурс и срок службы. Прогнозирование ресурса и срока службы по характеристикам усталостной прочности и циклической долговечности разрушения.</p> <p>Повышение долговечности за счет увеличения износостойкости: подбор материалов трущихся пар, уменьшение давления на поверхностях трения, повышение качества поверхности и выбор правильной смазки. Повышение жесткости и облегчение деталей. Методы снижения концентрации напряжений в конструкциях, уменьшение местных напряжений. Влияние упругости системы.</p> <p>Унификация конструктивных элементов.</p> <p>Использование принципа агрегатности.</p> <p>Тема 13. Остаточные напряжения.</p> <p>Остаточные напряжения, причины их возникновения.</p> <p>Остаточные микронапряжения и макронапряжения.</p> <p>Определение остаточных напряжений при пластических деформациях по деформационной теории. Чистый пластический изгиб балки прямоугольного сечения, упругопластический изгиб балки прямоугольного сечения, пластическое кручение вала круглого сечения, упругопластическое кручение вала круглого сечения. Схемы формирования остаточных напряжений для материалов, описываемых диаграммой Прандтля и диаграммой с линейным упрочнением.</p> <p>Тема 14. Повышение долговечности и усталостной прочности за счет создания благоприятного поля остаточных напряжений в изделии.</p> <p>Схема влияния осевых остаточных сжимающих напряжений на повышение предельной амплитуды цикла. Сопоставление предельных амплитуд и максимальных напряжений цикла упрочнённого и неупрочнённого изделия. Повышение предела выносливости и циклической долговечности</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
изделия. Эффект упрочнения при работе изделия в воздушной, коррозионной и острой агрессивной среде. Способы создания осевых сжимающих остаточных напряжений в приповерхностной области изделия. Методы поверхностного пластического деформирования: дробеструйный наклёп, обкатка поверхности изделия шариками и роликами. Поверхностная закалка ТВЧ. Упрочнение методами специального упругопластического деформирования всего объёма изделия. Упрочнение цилиндрических изделий методом совместного растяжения и кручения. Тема 15. Технологические и металлургические способы повышения долговечности оборудования. Влияние металлургических факторов на долговечность. Легирование. Упрочняющая термическая и химико-термическая обработка рабочих поверхностей деталей. Гальванические покрытия и металлизация напылением. Горячая обработка давлением. Механический наклёп поверхностей. Алмазное выглаживание. Обработка поверхностей лучом лазера.				
ИТОГО по 1-му семестру	18	0	34	90
ИТОГО по дисциплине	18	0	34	90

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Механические свойства конструкционных материалов.
2	Применение различных видов аппроксимации для обработки экспериментальных данных в программе MathCAD. Описание диаграмм деформирования различных материалов.
3	Основные виды и механизмы разрушений материалов и элементов оборудования.
4	Усталостная прочность материалов. Виды циклов, характеристики циклов. Механические характеристики сопротивления усталости, диаграммы усталости. Построение диаграммы предельных амплитуд и её схематизация.
5	Основные методики построения диаграммы усталости: метод пробитов, метод лестницы, метод пристрелки. Выбор базы испытаний. Выбор числа образцов для испытаний. Определение пределов выносливости деталей.
6	Построение кривых усталости в программе MathCAD. Построение диаграммы усталости на воздухе и в коррозионной среде. Статистическая обработка данных испытаний. Определение средневероятностного предела выносливости на заданной базе испытаний, среднеквадратичного отклонения предела выносливости, разброса циклической долговечности на различных уровнях напряжений. Построение семейства вероятностных кривых усталости.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
7	Применение классических теорий прочности для оценки прочности деталей и элементов оборудования.
8	Основы механики разрушения. Характеристики статической и циклической трещиностойкости. Методы экспериментального определения характеристик трещиностойкости.
9	Оценка прочности деталей и конструкций на основе линейной механики разрушения. Оценка прочности деталей и конструкций на основе механики рассеянных повреждений.
10	Прогнозирование ресурса работы и срока службы машин. Конструктивные способы повышения долговечности оборудования.
11	Определение остаточных напряжений при пластических деформациях по деформационной теории. Чистый пластический изгиб балки прямоугольного сечения, упругопластический изгиб балки прямоугольного сечения, пластическое кручение вала круглого сечения, упругопластическое кручение вала круглого сечения.
12	Схема влияния осевых остаточных сжимающих напряжений на повышение предельной амплитуды цикла, связь с повышением предела выносливости и циклической долговечности изделия. Способы создания осевых сжимающих остаточных напряжений в приповерхностной области изделия.
13	Технологические и металлургические способы повышения долговечности оборудования.

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Колесников Ю. В. Механика контактного разрушения / Ю. В. Колесников, Е. М. Морозов. - Москва: ЛКИ, 2013.	4
2	Пестриков В. М. Механика разрушения : курс лекций / В. М. Пестриков, Е. М. Морозов. - Санкт-Петербург: Профессия, 2012.	3
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Макаров Е. Г. Mathcad : учебный курс / Е. Г. Макаров. - Санкт-Петербург: Питер, 2009.	32
2	Соппротивление материалов : учебное пособие / А. А. Балакирев [и др.]. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007.	396
3	Терентьев В. Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов / В. Ф. Терентьев. - М.: Интермет Инжиниринг, 2002.	6
4	Феодосьев В. И. Соппротивление материалов : учебник для вузов / В. И. Феодосьев. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018.	11
5	Шлюшенков А.П. Механика разрушения и расчеты на прочность и долговечность элементов машин и конструкций с трещинами : Учеб. пособие для вузов / А.П.Шлюшенков. - Брянск: Изд-во БГТУ, 1996.	3
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Р. В. Бульбовича. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
2	Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Российская академия наук, Сибирское отделение ; Российская академия наук, Уральское отделение ; Пермский край. Министерство промышленности, инноваций и науки ; Росмолодежь ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Под ред. В. Я. Беленького. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	

3	Вестник ПНИПУ. Механика : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Сопротивление материалов : учебное пособие / А. А. Балакирев [и др.]. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2659	сеть Интернет; авторизованный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	http://www.diss.rsl.ru/
База данных компании EBSCO	https://www.ebsco.com/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	https://техэксперт.сайт/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Маркерная доска	1
Лекция	Персональный компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Лекция	Экран настенный	1
Практическое занятие	Маркерная доска	1
Практическое занятие	Персональный компьютер	10
Практическое занятие	Проектор	1
Практическое занятие	Экран настенный	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе
