

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 15.04.03 Прикладная механика

Наименование образовательной программы: Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Вариативная
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.08.02.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	не предусмотрено учебным планом
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 16 часов;
Самостоятельная работа	3 семестр - 55,4 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	3 семестр - 4 часа;
включая:	
Семинар	
Дискуссия	
Решение задач	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсовой работы	3 семестр - 0,3 часа;
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;
	всего - 0,6 часа

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

(подпись)

Е.В. Позняк

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

(подпись)

Е.В. Позняк

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883f

(подпись)

И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение базовых методов оценки прочности элементов конструкций, изготовленных из конструкционных материалов

Задачи дисциплины

- изучение методов определения характеристик конструкционной прочности металлических материалов;
- изучение моделей деформирования и разрушения конструкций, работающих при повышенных повторно-статических, длительных статических и вибрационных нагрузках, в т.ч. в условиях повышенных температур;
- решение прикладных задач механики деформируемого твёрдого с применением современных конечно-элементных программных комплексов (на примере натуральных конструкций).

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-5 способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультимедийного анализа (CAE-систем мирового уровня)		знать: - общие принципы оценки прочности конструкций, работающих в сложных эксплуатационных условиях. уметь: - строить расчётные схемы конструкций, создавать расчётные модели методом конечных элементов, в том числе для высоконагруженных деталей турбомашин.
ПК-13 способностью формулировать технические задания и применять программные системы компьютерного проектирования (CAD-системы) в процессе конструирования деталей машин и элементов конструкций с учетом обеспечения их прочности, жесткости,		знать: - возможности программного комплекса MSC.Software. уметь: - решать прикладные задачи механики методом конечных элементов в программном комплексе MSC.Software.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
устойчивости, долговечности, надежности и износостойкости, готовить необходимый комплект технической документации в соответствии с Единой системой конструкторской документации		
ПК-14 способностью проектировать машины и конструкции с учетом требований обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин		<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методы расчета на усталостную прочность деталей. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - рассчитывать на прочность конструкции, работающие при повторно-статических, длительных статических и вибрационных нагрузках, в том числе в условиях повышенных температур.
ПК-15 способностью разрабатывать технико-экономические обоснования проектируемых машин и конструкций, составлять техническую документацию на проекты, их элементы и сборочные единицы		<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - требования к исходным данным для выполнения прочностных расчетов и требования к нормативным запасам прочности. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формировать требования к прочности и ресурсу конструкций на этапе проектирования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока дисциплин основной профессиональной образовательной программе Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры (далее – ОПОП), направления подготовки 15.04.03 Прикладная механика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать численные методы в механике деформируемого твердого тела
- знать теорию пластичности и ползучести
- знать статистическую механику
- знать основы механики разрушения
- знать теорию колебаний
- уметь выполнять расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций методом конечных элементов

- уметь проводить статистическую обработку результатов экспериментов

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении	24	3	-	-	12	-	-	-	-	-	12	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Главы 1,2,6 [3], Гл. 1-16, 30</p>	
1.1	Введение. Виды механического разрушения	6		-	-	6	-	-	-	-	-	-	-		
1.2	Прочность деталей при статическом нагружении	18		-	-	6	-	-	-	-	-	12	-		
2	Расчет конструкций на многоцикловую усталость	18		-	-	6	-	-	-	-	-	12	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Расчет конструкций на многоцикловую усталость"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Глава 7 [3], Гл. 31</p>
2.1	Многоцикловое усталостное разрушение	18		-	-	6	-	-	-	-	-	12	-		
3	Прочность при малоцикловом нагружении	24		-	-	8	-	-	-	-	-	16	-		<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Выполнить теоретическую подготовку к проведению практического занятия по статистической обработке результатов испытаний на малоцикловую усталость стандартных образцов: 1. Построение средней кривой усталости 2. Расчет среднего квадратического отклонения и дисперсии 3. Построение статистически минимальной</p>
3.1	Прочность при малоцикловом нагружении	24	-	-	8	-	-	-	-	-	16	-			

													кривой усталости Каждому студенту будут выданы индивидуальные исходные данные. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Главы 8,11 [2], Все главы [3], Гл. 27,30 [4], Гл.1,2,6 [5], Все разделы
4	Прочность при длительном статическом нагружении	21.4	-	-	6	-	-	-	-	-	15.4	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Прочность при длительном статическом нагружении"
4.1	Прочность при длительном статическом нагружении	21.4	-	-	6	-	-	-	-	-	15.4	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 13 [3], Гл. 30 [6], Все разделы
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Курсовая работа (КР)	20.3	-	-	-	16	-	4	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	108.0	-	-	32	16	-	4	-	0.6	55.4	-	
	Итого за семестр	108.0	-	-	32	16		4		0.6	55.4		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении

1.1. Введение. Виды механического разрушения

Условия работы материалов и деталей машин. Общие принципы оценки прочности конструкций. Условия нагружения и типичные разрушения деталей машин. Типы механических испытаний. Методы определения характеристик конструкционной прочности. Краткая сводка видов механического разрушения. Схема анализа причин разрушения деталей..

1.2. Прочность деталей при статическом нагружении

Теория испытаний на растяжение. Связь между истинными и условными напряжениями и деформациями. Механические модели предельного состояния. Прочность и основы расчета конструкций при статических нагрузках. Схематизация диаграмм деформирования. Прочность деталей при статическом нагружении. Теория Нейбера о концентрации напряжений в надрезах и выточках. Приближенные способы определения напряжений и деформаций при неупругом деформировании. Несущая способность деталей турбомашин..

2. Расчет конструкций на многоцикловую усталость

2.1. Многоцикловое усталостное разрушение

Явление усталостного разрушения металлов. Циклы напряжений и экспериментальное изучение усталостных характеристик материалов. Факторы, влияющие на усталостную прочность деталей. Методы определения предела выносливости конструкций. Методы расчета на прочность конструкций при переменных напряжениях..

3. Прочность при малоцикловом нагружении

3.1. Прочность при малоцикловом нагружении

Классификация процессов повторного пластического деформирования. Испытания материалов на малоцикловую усталость, кривые малоциклового усталости. Обработка результатов испытаний. Критерии малоциклового усталости при жестком и мягком циклах нагружения. Характеристики циклического упруго-пластического деформирования. Методы расчета на прочность при малоцикловом нагружении. Суммирование повреждений. Критерии термоусталостного разрушения..

4. Прочность при длительном статическом нагружении

4.1. Прочность при длительном статическом нагружении

Соппротивление материалов деформированию при повышенных температурах. Разрушение при длительном нагружении. Параметрические зависимости длительной прочности. Основы расчета конструкций при длительном действии нагрузок в условиях повышенных температур. Критерии длительной прочности при сложном напряженном состоянии. Взаимное влияние длительной прочности и малоциклового усталости..

3.3. Темы практических занятий

1. Определение напряжённо-деформированного состояния вращающегося диска методом конечных элементов. Определение запасов статической прочности и несущей способности.;
2. Определение деформаций во вращающемся диске с использованием теории пластического течения. Расчёт циклической долговечности в эксплуатационных

условиях.;

3. Построение кривых малоциклового усталости;

4. Определение силы затяжки болтов фланцевого соединения при установившейся ползучести.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении"
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Расчет конструкций на многоцикловую усталость"
3. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Прочность при малоцикловом нагружении"
4. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Прочность при длительном статическом нагружении"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

3 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Расчетная оценка статической прочности и циклической долговечности детали вращения

График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 8	9 - 12	Зачетная
Раздел курсового проекта	1, 2	3	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	60	40	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	60	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Построение модели кривой малоциклового усталости материала на основе экспериментальных данных
2	Разработка расчетной трехмерной модели диска турбомшины и анализ напряженно-деформированного состояния в упругой и упруго-пластической постановках

3	Анализ результатов расчета, разработка конструктивных мероприятий по снижению напряжений в диске и оценка запасов прочности
---	---

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
общие принципы оценки прочности конструкций, работающих в сложных эксплуатационных условиях	ПК-5(Компетенция)		+	+		Дискуссия/Многоцикловое усталостное разрушение
возможности программного комплекса MSC.Software	ПК-13(Компетенция)	+				Семинар/Прочность деталей при статическом нагружении
методы расчета на усталостную прочность деталей	ПК-14(Компетенция)		+	+		Дискуссия/Многоцикловое усталостное разрушение
требования к исходным данным для выполнения прочностных расчетов и требования к нормативным запасам прочности	ПК-15(Компетенция)	+		+	+	Семинар/Прочность деталей при статическом нагружении
Уметь:						
строить расчётные схемы конструкций, создавать расчётные модели методом конечных элементов, в том числе для высоконагруженных деталей турбомашин	ПК-5(Компетенция)			+	+	Семинар/Прочность деталей при статическом нагружении Решение задач/Прочность при малоцикловом нагружении
решать прикладные задачи механики методом конечных элементов в программном комплексе MSC.Software	ПК-13(Компетенция)	+		+	+	Семинар/Прочность деталей при статическом нагружении
рассчитывать на прочность конструкции, работающие при повторно-статических, длительных статических и вибрационных нагрузках, в том числе в условиях повышенных температур	ПК-14(Компетенция)				+	Дискуссия/Прочность при длительном статическом нагружении
формировать требования к прочности и ресурсу конструкций на этапе проектирования	ПК-15(Компетенция)		+			Дискуссия/Многоцикловое усталостное разрушение

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Прочность при малоцикловом нагружении (Решение задач)

Форма реализации: Проверка задания

1. Прочность деталей при статическом нагружении (Семинар)

Форма реализации: Устная форма

1. Многоцикловое усталостное разрушение (Дискуссия)
2. Прочность при длительном статическом нагружении (Дискуссия)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

Курсовая работа (КР) (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Коллинз, Д. Повреждения материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение : пер. с англ. / Д. Коллинз ; ред. Э. И. Григолюк . – М. : Мир, 1984 . – 624 с.;
2. Прочность при малоцикловом нагружении. Основы методов расчета и испытаний / АН СССР. НИИ машиноведения ; отв. ред. С. В. Серенсен . – М. : Наука, 1975 . – 286 с.;
3. Биргер, И. А. Сопротивление материалов : Учебник для инженерно-технических специальностей вузов / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов . – М. : МАИ, 1994 . – 510 с. - ISBN 5-7035-0549-6 : 3500.00 .;
4. Степнов, М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний : справочник / М. Н. Степнов, А. В. Шаврин . – 2-е изд., испр. и доп. . – М. : Машиностроение, 2005 . – 400 с. - ISBN 5-217-03272-3 .;
5. Костюк А.Г.- "Динамика и прочность турбомашин", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020 <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014271.html>;

6. Локощенко А. М.- "Ползучесть и длительная прочность металлов", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2016 - (504 с.)
<https://e.lanbook.com/book/91156>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Ansys / CAE Fidesys;
5. Майнд Видеоконференции;
6. Python.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Б-112, Лаборатория вычислительной механики	стол, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-112, Лаборатория вычислительной механики	стол, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Б-112, Лаборатория вычислительной механики	стол, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Б-110/1, Кабинет сотрудников каф. "РМДиПМ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-06а, Учебная лаборатория	стеллаж для хранения книг

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Конструкционная прочность

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Прочность деталей при статическом нагружении (Семинар)
 КМ-2 Многоцикловое усталостное разрушение (Дискуссия)
 КМ-3 Прочность при малоцикловом нагружении (Решение задач)
 КМ-4 Прочность при длительном статическом нагружении (Дискуссия)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	4	8	12
1	Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении					
1.1	Введение. Виды механического разрушения		+			
1.2	Прочность деталей при статическом нагружении		+			
2	Расчет конструкций на многоцикловую усталость					
2.1	Многоцикловое усталостное разрушение			+		
3	Прочность при малоцикловом нагружении					
3.1	Прочность при малоцикловом нагружении		+	+	+	
4	Прочность при длительном статическом нагружении					
4.1	Прочность при длительном статическом нагружении		+		+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА
КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Конструкционная прочность

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

- КМ-1 Соблюдение графика выполнения КП/КР, оценка выполнения разделов КП/КР
 КМ-2 Соблюдение графика выполнения КП/КР, оценка выполнения разделов КП/КР, качество оформления КП/КР

Вид промежуточной аттестации – защита КР.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
		Неделя КМ:	8	12
1	Построение модели кривой малоцикловой усталости материала на основе экспериментальных данных		+	
2	Разработка расчетной трехмерной модели диска турбомшины и анализ напряженно-деформированного состояния в упругой и упруго-пластической постановках		+	
3	Анализ результатов расчета, разработка конструктивных мероприятий по снижению напряжений в диске и оценка запасов прочности			+
Вес КМ, %:			60	40