

**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**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Обязательная</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.О.13</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 127,4 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>3 семестр - 4 часа;</b>
<b>включая:</b> Дискуссия Решение задач Семинар	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Защита курсового проекта</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>
	<b>всего - 0,6 часа</b>

**Москва 2022**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Серветник А.Н.
	Идентификатор	Re186edb9-ServetnikAN-91185ef6

(подпись)

А.Н. Серветник

(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.

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
ОПК-2 Способен осуществлять экспертизу технической документации в области профессиональной деятельности	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub> Способен провести оценку проектной документации объектов профессиональной деятельности в части соответствия требованиям нормативных документов, регламентирующих расчеты на прочность	знать: - общие принципы оценки прочности конструкций, работающих в сложных эксплуатационных условиях.  уметь: - формировать требования к прочности и ресурсу конструкций на этапе проектирования.
ОПК-4 Способен разрабатывать методические и нормативные документы. в том числе проекты стандартов и сертификатов с учетом действующих стандартов качества, обеспечивать их внедрение на производстве	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub> Способен разработать методику расчета объекта профессиональной деятельности и изложить ее в форме методического документа	знать: - методы расчета на прочность деталей при повторно-статическом нагружении; - методы расчета на усталостную прочность деталей; - методы расчета на прочность деталей при кратковременном статическом нагружении; - методы расчета на прочность деталей при длительном статическом нагружении.  уметь: - строить расчётные схемы конструкций, создавать расчётные модели методом конечных элементов.
ПК-1 Готов участвовать в научных и расчетно-экспериментальных исследованиях объектов профессиональной деятельности с целью обеспечения их прочности, жесткости, устойчивости,	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Способен выполнять расчеты в профессиональных конечно-элементных программных комплексах	знать: - требования к исходным данным для выполнения прочностных расчетов и требования к нормативным запасам прочности.  уметь: - рассчитывать на прочность конструкции, работающие при

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
долговечности, безопасности и надежности		повторно-статических, длительных статических и вибрационных нагрузках, в том числе в условиях повышенных температур.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к 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 механических испытаний

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 5 зачетных единиц, 180 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	Расчет конструкций на многоцикловую усталость	46	3	-	-	8	-	-	-	-	-	38	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Расчет конструкций на многоцикловую усталость" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Гл. 7 [4], Гл. 31
1.1	Многоцикловое усталостное разрушение	46		-	-	8	-	-	-	-	-	38	-	
2	Прочность при малоцикловом нагружении	38		-	-	8	-	-	-	-	-	30	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение дополнительного материала по методам статистической обработки экспериментальных данных усталостных испытаний <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Гл. 8,11 [2], Все главы [3], Гл. 1,2,6 [4], Гл. 27,30 [6], 69-81
2.1	Прочность при малоцикловом нагружении	38		-	-	8	-	-	-	-	-	30	-	
3	Прочность при длительном статическом нагружении	38		-	-	8	-	-	-	-	-	30	-	
3.1	Прочность при длительном статическом	38		-	-	8	-	-	-	-	-	30	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Прочность при длительном статическом нагружении" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>

	нагружении												[1], Гл. 13 [4], Гл. 30 [5], Все разделы
4	Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении	37.4	-	-	8	-	-	-	-	-	29.4	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Гл. 1,2,6 [4], Гл. 1-16,30
4.1	Прочность деталей при статическом нагружении	37.4	-	-	8	-	-	-	-	-	29.4	-	
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Курсовой проект (КП)	20.3	-	-	-	16	-	4	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	-	-	<b>32</b>	<b>16</b>	-	<b>4</b>	-	<b>0.6</b>	<b>127.4</b>	-	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	-	-	<b>32</b>	<b>16</b>		<b>4</b>		<b>0.6</b>	<b>127.4</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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. Расчет конструкций на многоцикловую усталость

##### 1.1. 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..

#### 2. Прочность при малоцикловом нагружении

##### 2.1. 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..

#### 3. Прочность при длительном статическом нагружении

##### 3.1. Прочность при длительном статическом нагружении

Сопrotивление 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..

#### 4. Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении

##### 4.1. 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..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Построение кривых малоциклового усталости;
2. Аналитическое построение петли гистерезиса. Расчет циклической долговечности и ресурса конструкции;
3. Определение запасов статической прочности и несущей способности конструкции;
4. Определение силы затяжки болтов фланцевого соединения при установившейся ползучести.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. Индивидуальная консультация по КП
2. Индивидуальная консультация по КП
3. Индивидуальная консультация по КП
4. Индивидуальная консультация по КП

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 3 Семестр

Курсовой проект (КП)

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, %	40	60	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	40	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	
<b>Знать:</b>						
общие принципы оценки прочности конструкций, работающих в сложных эксплуатационных условиях	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub>	+	+	+	+	Дискуссия/Многоцикловое усталостное разрушение Семинар/Прочность деталей при статическом нагружении Дискуссия/Прочность при длительном статическом нагружении
методы расчета на прочность деталей при кратковременном статическом нагружении	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>				+	Семинар/Прочность деталей при статическом нагружении
методы расчета на усталостную прочность деталей	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>	+				Дискуссия/Многоцикловое усталостное разрушение
методы расчета на прочность деталей при повторно-статическом нагружении	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>		+			Дискуссия/Многоцикловое усталостное разрушение
методы расчета на прочность деталей при длительном статическом нагружении	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>			+		Дискуссия/Прочность при длительном статическом нагружении Решение задач/Прочность при малоцикловом нагружении
требования к исходным данным для выполнения прочностных расчетов и требования к нормативным запасам прочности	ИД-2 <sub>ПК-1</sub>	+	+	+	+	Дискуссия/Многоцикловое усталостное разрушение
<b>Уметь:</b>						
формировать требования к прочности и ресурсу конструкций на этапе проектирования	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub>	+	+	+	+	Дискуссия/Многоцикловое усталостное разрушение Дискуссия/Прочность при длительном статическом нагружении
строить расчётные схемы конструкций, создавать расчётные	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>				+	Семинар/Прочность деталей при

модели методом конечных элементов						статическом нагружении Решение задач/Прочность при малоцикловом нагружении
рассчитывать на прочность конструкции, работающие при повторно-статических, длительных статических и вибрационных нагрузках, в том числе в условиях повышенных температур	ИД-2ПК-1	+	+	+		Семинар/Прочность деталей при статическом нагружении Дискуссия/Прочность при длительном статическом нагружении

## **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 курсового проекта 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.

*Курсовой проект (КП) (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. 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 .;
4. 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 .;
5. Костюк, А. Г. Динамика и прочность турбомашин : учебник для вузов по направлению "Энергомашиностроение" / А. Г. Костюк . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 476 с. - ISBN 978-5-383-00130-1 .;

6. Костюк А.Г.- "Динамика и прочность турбомашин", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014271.html>.

### 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.

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

1. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

## 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-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
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 Многоцикловое усталостное разрушение (Дискуссия)  
 КМ-2 Прочность при малоцикловом нагружении (Решение задач)  
 КМ-3 Прочность при длительном статическом нагружении (Дискуссия)  
 КМ-4 Прочность деталей при статическом нагружении (Семинар)

**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	Расчет конструкций на многоцикловую усталость					
1.1	Многоцикловое усталостное разрушение		+		+	+
2	Прочность при малоцикловом нагружении					
2.1	Прочность при малоцикловом нагружении		+		+	+
3	Прочность при длительном статическом нагружении					
3.1	Прочность при длительном статическом нагружении		+	+	+	+
4	Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении					
4.1	Прочность деталей при 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 курсовому проекту:**

- 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 КП.**

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
		Неделя КМ:	8	12
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			+
Вес КМ, %:			40	60