

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:	Обязательная
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.О.13
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 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 - 127,4 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	3 семестр - 4 часа;
включая: Дискуссия Решение задач Семинар	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;
Защита курсового проекта	3 семестр - 0,3 часа;
	всего - 0,6 часа

Москва 2023

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 _{ОПК-2} 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 _{ОПК-4} Способен разработать методику расчета объекта профессиональной деятельности и изложить ее в форме методического документа	знать: - методы расчета на прочность деталей при длительном статическом нагружении; - методы расчета на прочность деталей при повторно-статическом нагружении; - методы расчета на усталостную прочность деталей; - методы расчета на прочность деталей при кратковременном 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 _{ПК-1} 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	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Расчет конструкций на многоцикловую усталость" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Гл. 7 [4], Гл. 31
1.1	Многоцикловое усталостное разрушение	46		-	-	8	-	-	-	-	-	38	-	
2	Прочность при малоцикловом нагружении	38		-	-	8	-	-	-	-	-	30	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение дополнительного материала по методам статистической обработки экспериментальных данных усталостных испытаний <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Прочность при длительном статическом нагружении" <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
3.1	Прочность при длительном статическом	38		-	-	8	-	-	-	-	-	30	-	

	нагружении												[1], Гл. 13 [4], Гл. 30 [5], Все разделы
4	Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении	37.4	-	-	8	-	-	-	-	-	29.4	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы расчета деталей на прочность при статическом нагружении" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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	-	-	
	Всего за семестр	180.0	-	-	32	16	-	4	-	0.6	127.4	-	
	Итого за семестр	180.0	-	-	32	16		4		0.6	127.4		

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

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