

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

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ТУРБОМАШИН

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	7 семестр - 32 часа;
Практические занятия	7 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	7 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	7 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Расчетно-графическая работа Тестирование	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Богомолова Т.В.
	Идентификатор	R21082b96-BogomolovaTV-4ebcd3e

(подпись)

Т.В. Богомолова

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

(подпись)

О.М.

Митрохова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

(подпись)

В.Г. Грибин

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение свойств материалов, применяемых в энергетическом машиностроении, в частности, в паровых и газовых турбинах, а также процессов, происходящих в энергетических машинах с позиции надежности, методов расчета и конструирования деталей турбомашин

Задачи дисциплины

- изучение конструкций энергетических машин, условий их работы, способов математического описания процессов;
- освоение методов анализа надежности деталей энергетических машин, построения алгоритмов решения задач надежности, оценка ресурса и работоспособности деталей, узлов и систем турбомашин;
- приобретение первичных навыков расчета турбомашин, роторов, статоров и опорных систем с позиций одновременного удовлетворения требований надежности и технологии изготовления, экономичности, минимальной себестоимости, ремонтпригодности.

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-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-3 _{ПК-1} Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности	знать: - критерии надежности деталей и узлов турбомашин. уметь: - использовать программные средства для расчета надежности деталей турбомашин; - выполнять прочностные расчеты рабочих лопаток турбомашин; - выполнять прочностные расчеты деталей статора турбомашин.
ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-5 _{ПК-1} Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструкционные решения	знать: - влияние условий эксплуатации на материалы, применяемые для изготовления деталей турбомашин; - влияние условий работы деталей турбомашин на их прочностные характеристики; - влияние длительности эксплуатации и условий нагружения турбомашин на прочностные характеристики из основных деталей и узлов. уметь: - использовать методы прочностных расчетов дисков и роторов турбомашин.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели (далее – ОПОП), направления подготовки

13.03.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин	34	7	12	-	12	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин"
1.1	Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин	34		12	-	12	-	-	-	-	-	10	-	
2	Конструкции, материалы и прочность роторов и дисков турбомашин	46		10	-	12	-	-	-	-	-	24	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Конструкции, материалы и прочность роторов и дисков турбомашин" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Конструкции, материалы и прочность роторов и дисков турбомашин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Выполнение типового расчета "Расчет диска на прочность с построением эпюр напряжений и оценкой пригодности
2.1	Конструкции, материалы и прочность роторов и дисков турбомашин	46		10	-	12	-	-	-	-	-	24	-	

													диска к эксплуатации" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 150-204 [2], стр. 16-19, 26-29, 31-36
3	Конструкции, материалы и прочность статоров турбомашин	20	6	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Конструкции, материалы и прочность статоров турбомашин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.1	Конструкции, материалы и прочность статоров турбомашин	20	6	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Конструкции, материалы и прочность статоров турбомашин" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 206-217, 224-242 [2], стр. 36-39
4	Тепловые расширения турбомашин	3	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Тепловые расширения турбомашин"
4.1	Тепловые расширения турбомашин	3	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 218-223
5	Подшипники турбомашин. Типы и конструкции	5	2	-	2	-	-	-	-	-	1	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Подшипники турбомашин. Типы и конструкции"
5.1	Подшипники турбомашин. Типы и конструкции	5	2	-	2	-	-	-	-	-	1	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Подшипники турбомашин. Типы и конструкции" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 242-250 [2], стр. 39-42
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	

	Всего за семестр	144.0		32	-	32	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0		32	-	32	2		-		0.5		77.5	

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. Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин

1.1. Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин

Кривая нагружения легированной стали. Пределы упругости и текучести. Диаграмма деформирования материала, ее аппроксимация. Критерии статической прочности. Коэффициенты запаса прочности. Кривая ползучести. Стадии ползучести. Аналитическое представление кривых ползучести. Влияние напряжений и температуры на ползучесть материалов. Характеристики длительной прочности материалов. Аппроксимирующая зависимость для характеристики длительной прочности. Малоцикловая усталость. Определение напряжений и деформаций в конструкциях при малоцикловой усталости. Конструкции рабочих лопаток турбомашин. Статическая и циклическая прочность рабочих лопаток. Растяжение рабочих лопаток. Растягивающие напряжения. Коэффициент разгрузки. Влияние связей на растягивающие напряжения в рабочих лопатках. Изгиб рабочих лопаток. Аэродинамическая нагрузка, приходящаяся на единицу длины оси лопатки. Уравнения для изгибающих моментов. Изгибающие напряжения в рабочих лопатках. Влияние связей на изгиб лопаток. Влияние центробежных сил инерции на изгиб. Температурные поля и напряжения в лопатках газовых турбин при переходных режимах. Удлинение лопаток при ползучести. Трещинообразование и трещиностойкость рабочих лопаток. Зарождение и развитие трещин при постоянных нагрузках и умеренных температурах. Скорость развития трещины в коррозионной среде при постоянной нагрузке.

2. Конструкции, материалы и прочность роторов и дисков турбомашин

2.1. Конструкции, материалы и прочность роторов и дисков турбомашин

Классификация роторов. Преимущества и недостатки цельнокованных роторов. Области применения различных конструкций роторов. Достоинства и недостатки роторов с насадными дисками. Области применения различных конструкций роторов. Достоинства и недостатки сварных роторов. Конструкции дисков роторов. Условия работы дисков и роторов. Напряжения и деформации в дисках и роторах в условиях упругости. Расчет напряжений и деформаций в тонком вращающемся неравномерно нагретом диске. Динамические напряжения в диске постоянной толщины без центрального отверстия. Динамические напряжения в диске постоянной толщины с центральным отверстием. Температурные напряжения в диске постоянной толщины без центрального отверстия. Температурные напряжения в диске постоянной толщины с центральным отверстием. Расчет напряжений в диске произвольного профиля. Метод двух расчетов для определения напряжений в дисках произвольного профиля. Определение напряженного состояния свободно вращающегося равномерно нагретого диска без контактного давления на расточке при произвольной угловой скорости. Определение напряжения в невращающемся диске при $\Delta T=0$ под действием произвольного контактного давления на расточке. Расчет диска произвольного профиля без центрального отверстия. Расчет диска, насаженного на вал с натягом. Освобождающая частота вращения диска. Расчет напряжений в барабанном роторе. Ползучесть и длительная прочность дисков. Влияние давления пара на напряженное состояние и деформацию диска и вала в условиях ползучести. Напряжения и деформации в цельнокованом роторе без центрального отверстия в условиях ползучести. Максимальные напряжения и деформации ползучести в цельнокованом роторе с центральным сверлением. Влияние разгрузочного отверстия на максимальные напряжения в дисках. Локализация трещин термоусталости в роторах. Влияние времени пуска и интенсивности теплообмена на долговечность роторов. Мероприятия по повышению термоциклической прочности роторов. Расчет долговечности роторов. Трещинообразование и трещиностойкость дисков. Меры по повышению трещиностойкости дисков. Определение ресурса диска.

3. Конструкции, материалы и прочность статоров турбомашин

3.1. Конструкции, материалы и прочность статоров турбомашин

Классификация корпусов турбомашин. Условия работы корпусов турбомашин. Принципы конструирования корпусов. Расчет напряжений в стенке корпуса с использованием простых расчетных схем. Расчет фланцев горизонтального разъема. Расчет фланцев горизонтального разъема с учетом релаксации. Изгибные напряжения во фланцах. Температурные напряжения в элементах корпуса. Классификация диафрагм турбомашин. Конструкция диафрагм турбомашин. Расчет прогиба и напряжений в диафрагмах паровых турбин. Изгибающие напряжения в крайних сопловых лопатках диафрагмы.

4. Тепловые расширения турбомашин

4.1. Тепловые расширения турбомашин

Типы конструкций, обеспечивающих тепловые расширения. Их преимущества и недостатки.

5. Подшипники турбомашин. Типы и конструкции

5.1. Подшипники турбомашин. Типы и конструкции

Принципиальная схема опирания валопроводов турбин. Опорные и упорные подшипники скольжения. Типы подшипников турбин..

3.3. Темы практических занятий

1. Статическая и циклическая прочность рабочих лопаток турбомашин (4 часа);
2. Растяжение, изгиб, кручение рабочих лопаток (4 часа);
3. Термическая прочность, малоцикловая усталость рабочих лопаток (2 часа);
4. Прочность хвостовых соединений рабочих лопаток при статических и циклических нагрузках (2 часа);
5. Статическая прочность дисков турбомашин (2 часа);
6. Статическая прочность роторов турбомашин (4 часа);
7. Метод двух расчетов (4 часа);
8. Натяг и освобождающее число оборотов (2 часа);
9. Статическая прочность корпусов турбомашин, фланцев (4 часа);
10. Статическая прочность обойм, диафрагм (2 часа);
11. Подшипники турбомашин, особенности кривых всплытия, их несущая способность (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

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	5	
Знать:							
критерии надежности деталей и узлов турбомашин	ИД-3ПК-1	+	+	+			Тестирование/Тест «Критерии надежности деталей и узлов турбомашин; влияние условий эксплуатации на материалы»
влияние длительности эксплуатации и условий нагружения турбомашин на прочностные характеристики из основных деталей и узлов	ИД-5ПК-1		+	+			Контрольная работа/Контрольная работа №2. «Расчет на прочность дисков, валов и деталей статора турбомашин с учетом влияния длительности эксплуатации и условий нагружения»
влияние условий работы деталей турбомашин на их прочностные характеристики	ИД-5ПК-1	+					Контрольная работа/Контрольная работа №1. «Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин»
влияние условий эксплуатации на материалы, применяемые для изготовления деталей турбомашин	ИД-5ПК-1	+	+	+	+	+	Тестирование/Тест «Критерии надежности деталей и узлов турбомашин; влияние условий эксплуатации на материалы»
Уметь:							
выполнять прочностные расчеты деталей статора турбомашин	ИД-3ПК-1		+	+			Контрольная работа/Контрольная работа №2. «Расчет на прочность дисков, валов и деталей статора турбомашин с учетом влияния длительности эксплуатации и условий нагружения»
выполнять прочностные расчеты рабочих лопаток турбомашин	ИД-3ПК-1	+					Контрольная работа/Контрольная работа №1. «Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин»
использовать программные средства для расчета надежности деталей турбомашин	ИД-3ПК-1		+				Расчетно-графическая работа/Выполнение и защита типового расчета «Расчет диска на прочность с построением эпюр напряжений и оценкой пригодности диска к эксплуатации»

использовать методы прочностных расчетов дисков и роторов турбомашин	ИД-5 _{ПК-1}		+			Расчетно-графическая работа/Выполнение и защита типового расчета «Расчет диска на прочность с построением эпюр напряжений и оценкой пригодности диска к эксплуатации»
--	----------------------	--	---	--	--	---

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Тест «Критерии надежности деталей и узлов турбомашин; влияние условий эксплуатации на материалы» (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1. «Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2. «Расчет на прочность дисков, валов и деталей статора турбомашин с учетом влияния длительности эксплуатации и условий нагружения» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Выполнение и защита типового расчета «Расчет диска на прочность с построением эпюр напряжений и оценкой пригодности диска к эксплуатации» (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

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

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Костюк А.Г.- "Динамика и прочность турбомашин", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020 <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014271.html>;
2. Костюк, А. Г. Сборник задач по динамике и прочности турбомашин : Учебное пособие для вузов по специальности "Турбостроение" и "Динамика и прочность машин" / А. Г. Костюк . – М. : Машиностроение, 1990 . – 336 с. - ISBN 5-217-00081-3 ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. SmathStudio.

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. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
15. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
17. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-25, Учебная аудитория	
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-25, Учебная аудитория	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-25, Учебная аудитория	
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
	П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов	
Помещения для консультирования	П-22, Кабинет сотрудников каф. ПГТ (проф. Богомолова Т.В.)	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	П-05/1, Помещение для учебного инвентаря	
	П-03/3, Подсобное	

	помещение	
--	-----------	--

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Прочность материалов и деталей турбомашин

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа №1. «Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин» (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа №2. «Расчет на прочность дисков, валов и деталей статора турбомашин с учетом влияния длительности эксплуатации и условий нагружения» (Контрольная работа)
- КМ-3 Выполнение и защита типового расчета «Расчет диска на прочность с построением эпюр напряжений и оценкой пригодности диска к эксплуатации» (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Тест «Критерии надежности деталей и узлов турбомашин; влияние условий эксплуатации на материалы» (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	5	8	12	16
1	Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин					
1.1	Конструкции, материалы и прочность рабочих лопаток турбомашин		+			+
2	Конструкции, материалы и прочность роторов и дисков турбомашин					
2.1	Конструкции, материалы и прочность роторов и дисков турбомашин			+	+	+
3	Конструкции, материалы и прочность статоров турбомашин					
3.1	Конструкции, материалы и прочность статоров турбомашин			+		+
4	Тепловые расширения турбомашин					
4.1	Тепловые расширения турбомашин					+
5	Подшипники турбомашин. Типы и конструкции					
5.1	Подшипники турбомашин. Типы и конструкции					+
Вес КМ, %:			30	30	20	20