

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Инновационные технологии в теплоэнергетике и теплотехнике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО**  
**СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 59,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Коллективное задание	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Стародубцева С.А.
	Идентификатор	Rf9642a00-StarodubtsevSA-dc2b14

С.А.  
Стародубцева


**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Соколов В.П.
	Идентификатор	R928a03a7-SokolovVPet-4d1c67c

В.П. Соколов

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** - изучение основ теории, расчета напряженно-деформированного состояния конструкций на прочность, усталость и жесткость, основных направлений и методологии использования метода конечных элементов при решении инженерных задач;

- формирование навыков в разработке моделей напряженно-деформированного состояния конструкций;
- развитие практических навыков технического творчества, в том числе с использованием прикладных программ и средств компьютерной графики.

### Задачи дисциплины

- изучение структуры построения моделей для проведения численного анализа, проведения уточненных расчетов с учетом особенностей используемых материалов и компонентов разрабатываемых объектов;

- умение осуществлять рациональный выбор конструкционных материалов; выполнять стандартные виды динамических и прочностных расчетов;

- овладение навыками основных подходов оптимизации по результатам моделирования изделий и методами расчета типовых конструкций, том числе с использованием современной вычислительной техники и программного обеспечения.

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 осуществлять физическое и математическое моделирование физико-механических процессов, в том числе с применением прикладного программного обеспечения	ИД-1ПК-1 Проводит моделирование физико-механических процессов с использованием прикладного программного обеспечения	знать: - методики расчетов напряженно-деформированного состояния конструкций на прочность, усталость и жесткость; - методологию и общие направления использования компьютерного моделирования.  уметь: - проводить динамические и прочностные расчеты; - анализировать полученные данные и проводить оптимизацию конструкций; использовать конструкторскую документацию; применять компьютерные технологии и средства компьютерной графики.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Инновационные технологии в теплоэнергетике и теплотехнике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы сопротивления материалов

- знать основы программирования
- уметь выполнять расчеты на прочность, жесткость и устойчивость для простейших конструкций

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 механики деформируемых тел. Метод конечных элементов	36	3	6	-	10	-	-	-	-	-	20	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Теоретические основы метода конечных элементов"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 4-25 [2], 32-172</p>	
1.1	Конечные элементы и аппроксимации.	7		1	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
1.2	Основы расчета по методу конечных элементов, использование для решения инженерных задач.	7		1	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
1.3	Описание механических свойств материалов	7		1	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
1.4	Использование стандартных и создание пользовательских библиотек материалов.	7		1	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
1.5	Описание внешних воздействий	8		2	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
2	Решение прикладных задач механики	54		10	-	22	-	-	-	-	-	-	22		-
2.1	Расчеты на прочность и жёсткость	14		2	-	6	-	-	-	-	-	-	6		-
2.2	Расчеты на усталость	12	2	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-		

2.3	Моделирование динамических процессов	16		4	-	6	-	-	-	-	-	6	-	дополнительного материала по разделу "Решение прикладных задач механики" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Расчеты на прочность и жесткость", «Динамические расчеты». Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: Расчет на прочность и жесткость стержневой конструкции Расчет на прочность и жесткость пластины Расчет на прочность и жесткость оболочки Расчет на прочность и жесткость объемного тела. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 61-163 [3], 157-202
2.4	Введение в теорию упругости	12		2	-	6	-	-	-	-	-	4	-	
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	108.0		16	-	32	-	-	-	-	0.3	42	17.7	
	Итого за семестр	108.0		16	-	32	-	-	-	-	0.3	59.7		

**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. Основы механики деформируемых тел. Метод конечных элементов

##### 1.1. Конечные элементы и аппроксимации.

Метод конечных элементов в технике..

1.2. Основы расчета по методу конечных элементов, использование для решения инженерных задач.

Допущения и упрощения. Точность расчетных данных. Типы решаемых задач..

##### 1.3. Описание механических свойств материалов

Классификация показателей свойств материала по назначению. Диаграммы деформирования. Условные и истинные диаграммы. Механические характеристики материала. Закон разгрузки и повторного нагружения. Пластическое и хрупкое состояние материалов. Типы разрушений. Влияние температуры и фактора времени на механические характеристики материалов..

##### 1.4. Использование стандартных и создание пользовательских библиотек материалов.

Использование стандартных и создание пользовательских библиотек материалов..

##### 1.5. Описание внешних воздействий

Напряженное и деформированное состояние в точке тела. Тензор напряжений. Компоненты вектора полного напряжения на произвольной площадке, проходящей через данную точку. Полное, нормальное и касательное напряжения. Главные площадки и главные напряжения. Определение величины главных напряжений и положений главных площадок. Экстремальные касательные напряжения и площадки их действия. Круговая диаграмма Мора. Классификация напряженных состояний. Анализ плоского напряженного состояния. Главные площадки и главные напряжения в стержне при сложном нагружении. Частные случаи плоского напряженного состояния при некоторых видах нагружения пластин. Угловые деформации. Деформированное состояние в точке тела. Тензор деформаций. Аналогия между напряженным и деформированным состоянием..

#### 2. Решение прикладных задач механики

##### 2.1. Расчеты на прочность и жёсткость

Модели разрушения (теории прочности). Принципиальная схема построения моделей разрушения. Критерий наибольших нормальных напряжений. Критерий наибольших относительных удлинений. Критерий максимальных касательных напряжений. Критерий удельной потенциальной энергии изменения формы. Критерии (теории) Мизеса, Друкера – Прагера, Мора. Сопоставление критериев прочности. Расчет на жесткость при растяжении-сжатии, изгибе, кручении с переменным сечением..

##### 2.2. Расчеты на усталость

Расчет на прочность при циклически меняющихся во времени напряжениях. Явление усталости. Цикл напряжений и предел выносливости. Влияние концентрации напряжений, размеров, чистоты обработки поверхности и других факторов на сопротивление усталости. Диаграммы предельных амплитуд и определение запасов прочности деталей из различных материалов при чистом сдвиге и одноосном напряженном состоянии. Определение запаса усталостной прочности при сложном напряженном состоянии.. Основы расчетов на сопротивление усталости при случайных нагрузках..

### 2.3. Моделирование динамических процессов

Колебания упругих систем. Свободные и вынужденные колебания. Колебания линейных механических систем с кинематическими воздействиями.. Параметрические колебания..

### 2.4. Введение в теорию упругости

Общие свойства упругих и пластических стержневых систем. Линейные упругие системы. Статически неопределимые системы. Краевые (граничные) задачи. Краевые задачи в перемещениях и напряжениях. Общие теоремы(Клапейрона, Бетти, о единственности решения)..

### 3.3. Темы практических занятий

1. Топологическая оптимизация механических конструкций;
2. Моделирование усталостного разрушения (лопатка турбины) при циклических воздействиях;
3. Определение собственных частот и форм колебаний вала;
4. Расчета на жесткость и прочность сосудов (барабан катка, нефтяной резервуар, корпус турбины) при динамическом нагружении;
5. Расчет на прочность несущих конструкций (рамы) с тепловыми воздействиями.

### 3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы механики деформируемых тел. Метод конечных элементов"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Решение прикладных задач механики"

#### *Текущий контроль (ТК)*

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Решение прикладных задач механики"

### 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	
<b>Знать:</b>				
методологию и общие направления использования компьютерного моделирования	ИД-1ПК-1	+		Коллективное задание/КМ-1. Теоретические основы метода конечных элементов
методики расчетов напряженно-деформированного состояния конструкций на прочность, усталость и жесткость	ИД-1ПК-1	+		Коллективное задание/КМ-2. Расчеты на прочность и жесткость
<b>Уметь:</b>				
анализировать полученные данные и проводить оптимизацию конструкций; использовать конструкторскую документацию; применять компьютерные технологии и средства компьютерной графики	ИД-1ПК-1		+	Коллективное задание/КМ-4. Оптимизация конструкций посредством компьютерных технологий
проводить динамические и прочностные расчеты	ИД-1ПК-1		+	Коллективное задание/КМ-3. Динамические расчеты

## **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. КМ-1. Теоретические основы метода конечных элементов (Коллективное задание)
2. КМ-2. Расчеты на прочность и жесткость (Коллективное задание)
3. КМ-3. Динамические расчеты (Коллективное задание)
4. КМ-4. Оптимизация конструкций посредством компьютерных технологий (Коллективное задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **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.

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. Самогин, Ю. Н. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов : учебное пособие для вузов по дисциплинам "Сопротивление материалов", "Механика материалов и конструкций" / Ю. Н. Самогин, В. Е. Хроматов, В. П. Чирков ; ред. В. П. Чирков ; М-во образования и науки Рос. Федерации . – М. : Физматлит, 2012 . – 200 с. - ISBN 978-5-9221-1380-9 .;
2. Самогин, Ю. Н. Метод конечных элементов в динамических расчетах турбомашин : учебное пособие для вузов по направлению "Энергетическое машиностроение" / Ю. Н. Самогин, С. А. Серков, В. П. Чирков ; ред. В. П. Чирков ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Физматлит, 2016 . – 212 с. - ISBN 978-5-9221-1681-7 .;
3. 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. Майнд Видеоконференции;
5. RastrWin.

### 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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
10. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
11. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
12. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
13. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
14. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
15. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>  
<http://docs.cntd.ru/>
16. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
17. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
18. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
19. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
20. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
21. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ш-206, Лекционная аудитория	
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ш-205, Компьютерный класс	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ш-205, Компьютерный класс	
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	Ш-206, Лекционная аудитория	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ш-107, Архив	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Моделирование напряженно-деформированного состояния конструкций

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 КМ-1. Теоретические основы метода конечных элементов (Коллективное задание)  
 КМ-2 КМ-2. Расчеты на прочность и жесткость (Коллективное задание)  
 КМ-3 КМ-3. Динамические расчеты (Коллективное задание)  
 КМ-4 КМ-4. Оптимизация конструкций посредством компьютерных технологий (Коллективное задание)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	10	16
1	Основы механики деформируемых тел. Метод конечных элементов					
1.1	Конечные элементы и аппроксимации.		+	+		
1.2	Основы расчета по методу конечных элементов, использование для решения инженерных задач.		+	+		
1.3	Описание механических свойств материалов		+	+		
1.4	Использование стандартных и создание пользовательских библиотек материалов.		+	+		
1.5	Описание внешних воздействий		+	+		
2	Решение прикладных задач механики					
2.1	Расчеты на прочность и жёсткость				+	+
2.2	Расчеты на усталость				+	+
2.3	Моделирование динамических процессов				+	+
2.4	Введение в теорию упругости				+	+
Вес КМ, %:			20	30	30	20