

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Цифровые двойники технических систем

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНОГО**  
**СОСТОЯНИЯ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.08.02
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	6 семестр - 3;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	108 часов
<b>Лекции</b>	6 семестр - 14 часов;
<b>Практические занятия</b>	6 семестр - 42 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	6 семестр - 51,7 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b>	
<b>Коллективное задание</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	6 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2024**

**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	Киндра В.О.
	Идентификатор	R429f7b35-KindraVO-2c9422f7

В.О. Киндра

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:** подготовка специалистов в области расчетов и экспериментального исследования конструкций и оборудования тепловой энергетики на прочность, жесткость и устойчивость.

### Задачи дисциплины

- ознакомить обучающихся с расчетами конструктивных элементов, обеспечивающих высокую надежность и эффективную эксплуатацию оборудования и узлов энергетики с помощью метода конечных элементов;
- дать информацию о рациональном выборе конструкционных материалов для оборудования, работающего в условиях различных температурных и/или силовых и радиационных воздействий.

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 проектировании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники, в том числе с применением информационных технологий	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Способен применять информационные технологии при проектировании объектов теплоэнергетики и теплотехники	знать: - теоретические основы метода конечных элементов; - основные возможности пакета прикладных программ ANSYS.  уметь: - выполнять практические расчеты пластин и оболочек на прочность и жесткость; - выполнять практические расчеты сложных стержневых конструкций на прочность и жесткость; - выполнять расчеты конструкций на устойчивость; - выполнять динамические расчеты конструкций; - выполнять практические расчеты на прочность и жесткость объемных тел произвольной формы.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Цифровые двойники технических систем (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

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	Теоретические основы метода конечных элементов	9	6	1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Теоретические основы метода конечных элементов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 4-25
1.1	Основы МКЭ	9		1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
2	Основы работы в ANSYS	12		2	-	6	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Основы работы в ANSYS". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: Составить модель механической системы состоящей из стержневых элементов
2.1	Знакомство с препроцессором	12		2	-	6	-	-	-	-	-	4	-	
3	Расчеты на прочность и жесткость	43		7	-	20	-	-	-	-	-	16	-	
3.1	Стержневые системы	9		1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
3.2	Пластины	12		2	-	6	-	-	-	-	-	4	-	
3.3	Оболочки	10		2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
3.4	Объемное тело	12	2	-	6	-	-	-	-	-	4	-	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], 11-53 [4], 16-70, 71-98
4	Динамические расчеты	12	2	-	6	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "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 собственных частот и форм колебаний заданной конструкции <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 32-172
4.1	Динамические расчеты	12	2	-	6	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Расчет на устойчивость". 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 конструкции на устойчивость <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 212-238
5	Расчет на устойчивость	14	2	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Расчет на устойчивость". 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 конструкции на устойчивость <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 212-238
5.1	Расчет на устойчивость	14	2	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Расчет на устойчивость". 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 конструкции на устойчивость <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 212-238
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>42</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>34</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>42</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>51.7</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. Теоретические основы метода конечных элементов

##### 1.1. Основы МКЭ

Основные понятия. Матрица жесткости элемента. Матрица жесткости конструкции. Учет граничных условий. Анализ результатов..

#### 2. Основы работы в ANSYS

##### 2.1. Знакомство с препроцессором

Построение геометрической модели конструкции. Построение точки, линии, поверхности, объемного тела. Задание механических характеристик материала. Выбор типа конечного элемента и его характеристик..

#### 3. Расчеты на прочность и жесткость

##### 3.1. Стержневые системы

Построение модели стержневой системы. Задание граничных условий и приложение нагрузок. Решение и просмотр результатов..

##### 3.2. Пластины

Построение модели пластины. Задание граничных условий и приложение нагрузок. Решение и просмотр результатов..

##### 3.3. Оболочки

Построение модели оболочки. Задание граничных условий и приложение нагрузок. Решение и просмотр результатов..

##### 3.4. Объемное тело

Построение модели объемного тела. Задание граничных условий и приложение нагрузок. Решение и просмотр результатов..

#### 4. Динамические расчеты

##### 4.1. Динамические расчеты

Расчет собственных частот и форм колебаний. Решение и просмотр результатов..

#### 5. Расчет на устойчивость

##### 5.1. Расчет на устойчивость

Определение критических нагрузок. Формы потери устойчивости..

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

1. основы МКЭ;
2. расчет на устойчивость;
3. объемное тело;
4. расчет пластин и оболочек;
5. расчет стержневых систем;
6. типы конечных элементов;
7. препроцессор;



8. динамический расчет.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теоретические основы метода конечных элементов"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы работы в ANSYS"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Расчеты на прочность и жесткость"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Динамические расчеты"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Расчет на устойчивость"

### **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	
<b>Знать:</b>							
основные возможности пакета прикладных программ ANSYS	ИД-3ПК-1		+				Коллективное задание/Теоретические основы метода конечных элементов
теоретические основы метода конечных элементов	ИД-3ПК-1	+		+			Коллективное задание/Препроцессор
<b>Уметь:</b>							
выполнять практические расчеты на прочность и жесткость объемных тел произвольной формы	ИД-3ПК-1			+			Коллективное задание/Препроцессор
выполнять динамические расчеты конструкций	ИД-3ПК-1				+		Коллективное задание/динамический расчет и расчет на устойчивость
выполнять расчеты конструкций на устойчивость	ИД-3ПК-1					+	Коллективное задание/динамический расчет и расчет на устойчивость
выполнять практические расчеты сложных стержневых конструкций на прочность и жесткость	ИД-3ПК-1	+					Коллективное задание/Теоретические основы метода конечных элементов
выполнять практические расчеты пластин и оболочек на прочность и жесткость	ИД-3ПК-1			+			Коллективное задание/статический расчет стержневых систем и пластин

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

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**6 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. динамический расчет и расчет на устойчивость (Коллективное задание)
2. Препроцессор (Коллективное задание)
3. статический расчет стержневых систем и пластин (Коллективное задание)
4. Теоретические основы метода конечных элементов (Коллективное задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №6)*

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 6 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. Радин, В. П. Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления материалов / В. П. Радин, Ю. Н. Самогин, В. П. Чирков . – М. : Физматлит, 2013 . – 316 с. - ISBN 978-5-9221-1485-1 .;
4. Голованов А. И., Тюленева О. Н., Шигабутдинов А. Ф.- "Метод конечных элементов в статике и динамике тонкостенных конструкций", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2006 - (389 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=50293](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=50293).

### **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. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

### 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	НТБ-303,	стол компьютерный, стул, стол

самостоятельной работы	Компьютерный читальный зал	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****Компьютерное моделирование прочностного состояния**

(название дисциплины)

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

КМ-1 Теоретические основы метода конечных элементов (Коллективное задание)

КМ-2 Препроцессор (Коллективное задание)

КМ-3 статический расчет стержневых систем и пластин (Коллективное задание)

КМ-4 динамический расчет и расчет на устойчивость (Коллективное задание)

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

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	6	10	13	15
1	Теоретические основы метода конечных элементов					
1.1	Основы МКЭ		+	+		
2	Основы работы в ANSYS					
2.1	Знакомство с препроцессором		+			
3	Расчеты на прочность и жесткость					
3.1	Стержневые системы			+	+	
3.2	Пластины			+	+	
3.3	Оболочки			+	+	
3.4	Объемное тело			+	+	
4	Динамические расчеты					
4.1	Динамические расчеты					+
5	Расчет на устойчивость					
5.1	Расчет на устойчивость					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25