

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

Саровский физико-технический институт -

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра «Технологии специального машиностроения»**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан ФТФ, член корр. РАН, д.ф-м.н.**

\_\_\_\_\_ **А.К. Чернышев**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2023 г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Математическое моделирование в машиностроении**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
Наименование образовательной программы	Конструирование и технология цифрового производства
Квалификация (степень) выпускника	магистр
Форма обучения	очная
Программа одобрена на заседании кафедры протокол № _____	Зав. кафедрой ТСМ д.тех.н., профессор _____ <b>В.Н. Халдеев</b> « ____ » _____ <b>2023 г.</b>

г. Саров, 2023 г.

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТСМ д.тех.н., профессор

В.Н. Халдеев

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТСМ д.тех.н., профессор

В.Н. Халдеев

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТСМ д.тех.н., профессор

В.Н. Халдеев

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТСМ д.тех.н., профессор

В.Н. Халдеев

<b>Семестр</b>	<b>В форме практической подготовки</b>	<b>Трудоемкость, кред.</b>	<b>Общий объем курса, час.</b>	<b>Лекции, час.</b>	<b>Практич. занятия, час.</b>	<b>Лаборат. работы, час.</b>	<b>СРС, час.</b>	<b>КР/КП</b>	<b>Форма(ы) контроля, экс./зач./ЗСО/</b>
1	16	5	180	32	16		96		экзамен
2	16	3	108	16	16		40		экзамен
<b>ИТОГО</b>	<b>32</b>		<b>288</b>	<b>48</b>	<b>32</b>		<b>136</b>		<b>экзамен</b>

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина “Математическое моделирование в машиностроении” относится к циклу дисциплин, необходимых для подготовки магистров конструкторско-технологической направленности в области технологии специального машиностроения ядерно-оружейного комплекса (ЯОК). Дисциплина применяет математический аппарат к описанию и изучению физических явлений нелинейного деформирования материалов, аккумулируя разработки общетехнических и специальных дисциплин.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

*Целью* преподавания дисциплины “Математическое моделирование в машиностроении” является формирование у студентов знаний в оценке прочности конструкций, полученных по алгоритмам и программным средствам вычислительного комплекса ABAQUS.

*Задачей* дисциплины “Математическое моделирование в зарядной тематике” является изучение студентами вычислительных методов, критериев и уравнений для описания напряжённо-деформированных состояний (НДС) конструкций, подвергнутых статическим, динамическим, тепловым и вибрационным воздействиям.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина предназначена для приобретения навыков математического моделирования технологических процессов, благодаря чему обеспечивается возможность оптимизации всех этапов обработки деталей и сборки изделий. Дисциплина “Математическое моделирование в зарядной тематике” имеет значительную теоретическую основу, включающую в себя обширный математический аппарат. Наряду с вопросами теории в данной дисциплине рассматриваются также вопросы практического использования математического аппарата в технологическом процессе.

Отраслевая составляющая данной дисциплины обусловлена связью с другими технологическими дисциплинами специальности: основными разделами высшей математики (математический анализ, высшая алгебра, дифференциальные уравнения и т.д.), физики, технологическими процессами машиностроительных производств, технологией машиностроения, электрофизическими и электрохимическими методами обработки.

Региональная составляющая дисциплины обусловлена тем, что институт расположен в закрытом административно-территориальном образовании, основой которого является крупнейшее предприятие оборонного значения – РФЯЦ-ВНИИЭФ, в связи с чем направленность учебной подготовки студентов в рамках данной дисциплины в значительной мере определяется практическими вопросами применения математических методов для оптимизации технологических процессов получения поверхностей сложной формы.

Федеральная составляющая данной дисциплины определяется требованиями Государственного образовательного стандарта по специальности, которая для будущих специалистов определяет знания о методах математического моделирования, являющихся неизбежной составляющей современного производственного процесса.

# 1. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

## Универсальные и общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
-	-

## Обязательные профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Задача ПД	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Тип задачи профессиональной деятельности: проектно-конструкторский			
выполнение проектно-конструкторских разработок с учетом требований действующих норм и правил безопасности на предприятиях ядерного оружейного комплекса с разработкой проектно-конструкторской документации на изготовление специальных изделий	опытное производство ядерного оружейного комплекса	ПК-7.1 способен выполнять работы по проектированию, модернизации и автоматизации действующих технологий, инструментальных средств и средств вычислительной техники при реализации процессов проектирования, изготовления, контроля и промышленных испытаний машиностроительных изделий специального назначения <b>Основание:</b> Профессиональный стандарт «40.031. Специалист по технологиям механообрабатывающего производства в машиностроении»	З-ПК-7.1 знать методику проектирования, модернизации и автоматизации специальных технологических процессов, методику применения средств вычислительной техники при расчете их экономической эффективности У-ПК-7.1 уметь диагностировать, контролировать и оценивать технологические процессы изготовления специальных изделий В-ПК-7.1 владеть навыками разработки технологической документации на изготовление и промышленные испытания изделий

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ\*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС			
			48	32		136			
<b>Семестр № 1</b>									
1	<i>Тема 1. Общая структура метода конечных элементов (МКЭ)</i>		<b>8</b>	<b>4</b>		<b>26</b>			
1.1	Метод жесткостей и метод податливостей	1	4			10			
1.2	Формирование матрицы жёсткости плоского треугольного элемента	2,3	2	2		8	УО	3	
1.3	Компиляция матрицы жёсткости всей конструкции плоской задачи	4	2	2		8	РГР	6	
2	<i>Тема 2. Алгоритмы решения СЛАУ</i>		<b>10</b>	<b>6</b>		<b>34</b>			
2.1	Формирование разрешающей СЛАУ с учётом граничных условий	5,6	4			10			
2.2	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса	7	2	2		8	ДЗ	6	
2.3	Алгоритм решения СЛАУ методом квадратного корня по схеме Халецкого	8,9	2	2		8	УО	3	

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС			
			48	32		136			
2.4	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса-Зейделя	10	2	2		8	Контр.	9	
3	<i>Тема 3. Осесимметричная задача ТУ</i>		<b>10</b>	<b>4</b>		<b>28</b>			
3.1	Численное дифференцирование в МКЭ	11	4			10			
3.2	Разделение жесткостных параметров в МЖ элемента	12, 13	4	2		8	УО	3	
3.3	Матрица преобразования координат в оболочечном элементе	14	2	2		10	ДЗ	6	
4	<i>Тема 4. КЭ для пространственной оболочечной конструкции</i>		<b>4</b>	<b>2</b>		<b>8</b>			
4.1	Алгоритм вычисления матрицы жёсткости стержневого пространственного КЭ	15, 16	4	2		8	Контр.	9	
<b>Всего за семестр</b>								<b>45</b>	
<b>Промежуточная аттестация</b>			<b>Экзамен</b>					<b>50</b>	
<b>Посещаемость</b>								<b>5</b>	
<b>Итого:</b>								<b>100</b>	

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС			
			48	32		136			
<b>Семестр № 2</b>									
5	<i>Тема 5. Практическое освоение ППП ABAQUS</i>		<b>16</b>	<b>16</b>		<b>40</b>			
5.1	Алгоритм вычисления матрицы жёсткости стержневого пространственного КЭ	1,2	2	2		5	УО	5	
5.2	Матрица жёсткости тетраэдрального КЭ объёмной задачи ТУ	3,4	2	2		5	ДЗ	5	
5.3	Принцип формирования шестигранного КЭ из тетраэдральных.	5,6	2	2		5	Контр.	5	
5.4	Численное интегрирование в МКЭ	7,8	2	2		5	УО	5	
5.5	Матрица преобразования координат для элементов стержневой конструкции	9,10	2	2		5	ДЗ	5	
5.6	Функции формы, аппроксимирующие перемещения внутри КЭ	11,12	2	2		5	Тест	5	
5.7	Изопараметрические КЭ для осесимметричной задачи ТУ	13,14	2	2		5	УО	5	
5.8	Алгоритм вычисления напряжений в КЭ	15,16	2	2		5	РГР	10	

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Максимальный балл (см. п. 6.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	
			48	32		136		
<b>Всего за семестр</b>							<b>45</b>	
<b>Промежуточная аттестация</b>			Экзамен				<b>50</b>	
<b>Посещаемость</b>							<b>5</b>	
<b>Итого:</b>							<b>100</b>	

\*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:

**УО** – устный опрос

**Контр.** – контрольная работа

**Тест** – тестирование (письменный опрос)

**ДЗ** – домашнее задание

**РГР** – расчетно-графическая работа

**Э/Зач/ЗсО** – экзамен/зачет/зачет с оценкой и др.

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
<b>Семестр 1</b>		
<b>1</b>	<b>Тема 1. Общая структура метода конечных элементов (МКЭ)</b>	
1.1	Метод жесткостей и метод податливостей	Метод жесткостей и метод податливостей. Формирование матрицы жёсткости плоского треугольного элемента. Компиляция матрицы жёсткости всей конструкции плоской задачи.
1.2	Формирование матрицы жёсткости плоского треугольного элемента	Формирование разрешающей СЛАУ с учётом граничных условий. Матрица жёсткости тетраэдрального КЭ объёмной задачи ТУ. Принцип формирования шестигранного КЭ из тетраэдральных
1.3	Компиляция матрицы жёсткости всей конструкции плоской задачи	Алгоритм вычисления матрицы жёсткости стержневого пространственного КЭ. Матрица преобразования координат для элементов стержневой конструкции
<b>2</b>	<b>Тема 2. Алгоритмы решения СЛАУ</b>	
2.1	Формирование разрешающей СЛАУ с учётом граничных условий	Принципы формирования разрешающей СЛАУ с учётом граничных условий
2.2	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса.
2.3	Алгоритм решения СЛАУ методом квадратного корня по схеме Халецкого	Алгоритм решения СЛАУ методом квадратного корня по схеме Халецкого.
2.4	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса-Зейделя	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса- Зейделя.
<b>3</b>	<b>Тема 3. Осесимметричная задача ТУ</b>	
3.1	Численное дифференцирование в МКЭ	Функции формы, аппроксимирующие перемещения внутри КЭ. Изопараметрические КЭ для осесимметричной задачи ТУ. Численное интегрирование в МКЭ. Численное дифференцирование в МКЭ
3.2	Разделение жесткостных параметров в МЖ элемента	Задание типов жесткости и их элементов. Диалоговое окно «Жесткость элементов». Формирование типов жесткости. Упаковка расчетной схемы.
3.3	Матрица преобразования координат в оболочечном элементе	Предназначение матрицы преобразований, ее коэффициенты. Трансформация элемента. Двумерная матрица. Единичная матрица: масштаб по горизонтали, отражение, поворот, наклон, перемещение. Трехмерная матрица
<b>4</b>	<b>Тема 4. КЭ для пространственной оболочечной конструкции</b>	
4.1	Алгоритм вычисления матрицы жёсткости стержневого пространственного КЭ	Изучение препроцессора комплекса. Построение КЭМ плоских и объёмных. Построение пространственных стержневых КЭМ. Построение пространственных стержневых КЭМ.

<b>Семестр 2</b>		
<b>5</b>	<b>Тема 5. Практическое освоение ППП ABAQUS</b>	
5.1	Алгоритм вычисления матрицы жёсткости стержневого пространственного КЭ	Уравнение состояния объемного тела. Работа, совершаемая узловыми силами.
5.2	Матрица жёсткости тетраэдрального КЭ объёмной задачи ТУ	Матрица жесткости тетраэдра. Определение перемещений конечных элементов.
5.3	Принцип формирования шестигранного КЭ из тетраэдральных.	Анализ матрицы жесткости тетраэдра. Определение перемещений конечных элементов.
5.4	Численное интегрирование в МКЭ	Определение функционала через прямолинейные звенья ломаной линии. Метод решения задач численного интегрирования с применением геометрических методов
5.5	Матрица преобразования координат для элементов стержневой конструкции	Выражение узловых перемещений через матрицы деформаций и матрицы упругости
5.6	Функции формы, аппроксимирующие перемещения внутри КЭ	Выражение узловых перемещений через матрицы деформаций и матрицы упругости. Анализ конечно-разностного метода Эйлера в вариационном исчислении
5.7	Изопараметрические КЭ для осесимметричной задачи ТУ	Уравнение состояния объемного тела. Работа, совершаемая узловыми силами
5.8	Алгоритм вычисления напряжений в КЭ	Определение напряжения в упругой сплошной среде методом конечно-элементного подхода. Выбор функций для определения перемещений внутри каждого элемента

### Практические занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
<b>Семестр 1</b>		
<b>1</b>	<b>Тема 1. Общая структура метода конечных элементов (МКЭ)</b>	
1.2	Формирование матрицы жёсткости плоского треугольного элемента	На занятии рассматриваются метод жесткостей и метод податливостей. Анализируется плоская задача теории упругости.
1.3	Компиляция матрицы жёсткости всей конструкции плоской задачи	Определяются напряжения в упругой сплошной среде методом конечно-элементного подхода. Производится выбор функций для определения перемещений внутри каждого элемента.
<b>2</b>	<b>Тема 2. Алгоритмы решения СЛАУ</b>	
2.2	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса	Анализ условий для обеспечения возможности решения задач по теории упругости. Составление уравнений равновесия для каждого конечного узла рассматриваемой конструкции. Решение систем линейных алгебраических уравнений методом Гаусса.
2.3	Алгоритм решения СЛАУ	Анализ условий для обеспечения возможности решен

	методом квадратного корня по схеме Халецкого	задач по теории упругости. Составление уравнений равновесия для каждого конечного узла рассматриваемой конструкции. Решение СЛАУ методом квадратного корня по схеме Халецкого.
2.4	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса-Зейделя	Анализ условий для обеспечения возможности решения задач по теории упругости. Составление уравнений равновесия для каждого конечного узла рассматриваемой конструкции. Анализируется метод Гаусса-Зейделя – итерационный метод
<b>3</b>	<b><i>Тема 3. Осесимметричная задача ТУ</i></b>	
3.2	Разделение жестких параметров в МЖ элемента	Решение задач численного дифференцирования с применением геометрических методов. Построение пространственных стержневых КЭМ.
3.3	Матрица преобразования координат в оболочечном элементе	Построение матрицы жесткости оболочечного элемента общей системе координат.
<b>4</b>	<b><i>Тема 4. КЭ для пространственной оболочечной конструкции</i></b>	
4.1	Алгоритм вычисления матрицы жесткости стержневого пространственного КЭ	Рассматривается уравнение состояния объемного тела. Анализируется работа, совершаемая узловыми силами
<b>Семестр 2</b>		
<b>5</b>	<b><i>Тема 5. Практическое освоение ППП АВАQUS</i></b>	
5.1	Алгоритм вычисления матрицы жесткости стержневого пространственного КЭ	Рассматривается уравнение состояния объемного тела. Анализируется работа, совершаемая узловыми силами.
5.2	Матрица жесткости тетраэдрального КЭ объёмной задачи ТУ	Анализируется матрица жесткости тетраэдра. Определение перемещений конечных элементов.
5.3	Принцип формирования шестигранного КЭ из тетраэдральных.	Анализ закона Гука для изотропных материалов с применением матричного исчисления.
5.4	Численное интегрирование в МКЭ	Определение функционала через прямолинейные звенья ломаной линии.
5.5	Матрица преобразования координат для элементов стержневой конструкции	Выражение узловых перемещений через матрицы деформаций и матрицы упругости.
5.6	Функции формы, аппроксимирующие перемещения внутри КЭ	Анализ конечно-разностного метода Эйлера в вариационном исчислении.
5.7	Изопараметрические КЭ для осесимметричной задачи ТУ	Решение уравнения теплопроводности методом конечных разностей.
5.8	Алгоритм вычисления напряжений в КЭ	Блок-схема получения АЧХ для стержневых систем.

#### 4.3. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы студентов

- Пирумов У.Г. Численные методы. –М: дрофа, 2003. 221с
- Голубев А.И. Численные методы. Часть 1,2. – Саров. 2000. 171с.

### 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

#### 5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

№	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя	
<b>Семестр 1</b>					
1	Метод жесткостей и метод податливостей.	ПК-7.1	3-ПК-7.1	УО, 2	
	Компиляция матрицы жёсткости всей конструкции плоской задачи		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	РГР, 4	
2	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса		3-ПК-7.1	ДЗ, 7	
	Алгоритм решения СЛАУ методом квадратного корня по схеме Халецкого		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	УО, 9	
	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса-Зейделя		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	Контр., 10	
3	Численное дифференцирование в МКЭ		3-ПК-7.1	УО, 12	
	Матрица преобразования координат в оболочечном элементе		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	ДЗ, 14	
4	Алгоритм вычисления матрицы жёсткости стержневого пространственного КЭ		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	Контр., 16	
<b>Промежуточная аттестация</b>			3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	<b>Экзамен</b>	

Семестр 2				
	Алгоритм вычисления матрицы жёсткости стержневого пространственного КЭ	ПК-7.1	3-ПК-7.1 У-ПК-7.1 В-ПК-7.1	УО, 2
	Матрица жёсткости тетраэдрального КЭ объёмной задачи ТУ		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	ДЗ, 4
	Принцип формирования шестигранного КЭ из тетраэдральных.		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1 В-ПК-7.1	Контр., 6
	Численное интегрирование в МКЭ		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	УО, 8
	Матрица преобразования координат для элементов стержневой конструкции		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1 В-ПК-7.1	ДЗ, 10
	Функции формы, аппроксимирующие перемещения внутри КЭ		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1	Тест, 12
	Изопараметрические КЭ для осесимметричной задачи ТУ		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1 В-ПК-7.1	УО, 14
	Алгоритм вычисления напряжений в КЭ		3-ПК-7.1 У-ПК-7.1 В-ПК-7.1	РГР, 16
<b>Промежуточная аттестация</b>			3-ПК-7.1 У-ПК-7.1 В-ПК-7.1	<b>Экзамен</b>

**5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

### **5.2.1. Примерные вопросы к экзамену**

Форма промежуточного контроля – экзамен: 50 баллов в соответствии с БРС.

#### **Примерные экзаменационные вопросы**

1. Какие условия должны быть выполнены при решении задачи ТУ?
2. Формула общего уравнения равновесия для всей конструкции.
3. Что такое главные центральные оси поперечного сечения балки?
4. Функция формы перемещений внутри плоского КЭ.
5. Функции формы тетраэдра.
6. Границы применимости методов решения СЛАУ и их особенности.
7. Среди изученных решений СЛАУ, какие методы относятся к итерационным, а какие к прямым?
8. Что такое собственная частота конструкции?
9. Что такое собственный вектор резонансной частоты конструкции?

10. Для плоской задачи в КЭ схеме узел с номером 100 жёстко закреплён, какие уравнения в СЛАУ необходимо модернизировать, и как это сделать?
11. Для 3-х мерной задачи в КЭ схеме узел с номером 100 жёстко закреплён, какие уравнения в СЛАУ необходимо модернизировать, и как это сделать?
12. Для пространственной стержневой конструкции в КЭ схеме узел с номером 100 жёстко закреплён, какие уравнения в СЛАУ необходимо модернизировать, и как это сделать?
13. Компоненты векторов напряжения и деформации для осесимметричной задачи.
14. Почему в осесимметричной задаче возникает необходимость в численном интегрировании по объёму КЭ.
15. Определение изопараметрических КЭ
16. Гипотеза Кирхгофа-Лява.
17. Дифференциация компонент НДС в пространственном оболочечном КЭ.
18. Каких 2 способа учёта граничных условий используется в методе КЭ
19. Сколько степеней свободы в треугольном оболочечном элементе?
20. Размерность матрицы жёсткости оболочечного элемента?
21. Из каких компонент складываются составляющие напряжения для оболочечного элемента?
22. Виды анализа в МКЭ

*Уравнения, решаемые МКЭ для задач:*

1. Статического анализа;
2. Прочностного динамического анализа;
3. Модальный анализ;
4. Отклик на гармоническое воздействие;
5. Спектральный анализ;
6. Отклик на случайную вибрацию;
7. Анализ устойчивости конструкций;
8. Физическая нелинейность;
9. Геометрическая нелинейность.
10. Условие наступления текучести в упруго-пластической задаче

### **5.2.2. Примерные критерии оценивания компетенций (результатов):**

В соответствии с БРС за ответы на вопросы билета ставятся баллы:

- 1 вопрос (теоретический) – 15 баллов
- 2 вопрос (теоретический) – 15 баллов
- 3 вопрос (практический) – 20 баллов.

Всего студент набирает 50 баллов. Суммируя баллы, полученные за работу в течение семестра и баллы, полученные на экзамене, студент может набрать максимум 100 баллов и получить оценку, согласно таблице, приведенной в п. 5.3.

### **5.2.3. Примерные темы домашнего задания**

- а) исходные данные для решения задач по изучаемым темам на практических занятиях;
- б) летучий устный опрос студентов по материалам изученной темы (раздела);

Основные темы практических занятий:

- Построение КЭМ консольной балки различными элементами;
  - балочный элемент;
  - плоский элемент;

- объёмный шестигранный элемент;
- Сравнение поля НДС для различных КЭ моделей;
- Исследование точности решения задачи в зависимости от густоты КЭ сетки;
- Изучение отклика конструкций на действие гармонической вибрации;
- Построение АЧХ конструкций для различных КЭМ;
- Изучение поведения конструкций для физически нелинейных материалов;

#### 5.2.4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

1. Методические рекомендации для выполнения практических работ.
2. Материалы с решениями задач, полученные студентами на практических занятиях

Контроль самостоятельной работы студентов проводится путем проверки работ, предложенных обучающимся для выполнения в качестве домашних заданий. Одним из основных видов контроля СРС является защита индивидуальных домашних заданий, являющихся мини проектами в проектно–ориентированной технологии обучения.

#### 5.2.4. Наименование оценочного средства

КАРТА ЭКСПЕРНОЙ ОЦЕНКИ ЗАЩИТЫ ИТОГОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

Представлена в Фонде оценочных средств по дисциплине «Математическое  
моделирование в машиностроении»

#### 5.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.

85-89	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### *Основная литература:*

1. Пирумов У.Г. Численные методы. –М: дрофа, 2003. 221с
2. Голубев А.И. Численные методы. Часть 1,2. – Саров. 2000. 171с.

### *Дополнительная литература*

1. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчёты деталей машин на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985.
2. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П. Кобельков Г.М. Численные методы. - М: Наука, 1987. 598с.

## 7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы: операционные системы Windows, стандартные офисные программы, интернет-ресурсы, презентации в формате **ppt**, пакет программ ABAQUS.
2. Набор презентаций, экзаменационные билеты, распечатки с исходными данными

для решения задач, плакаты, учебники и методические рекомендации по курсу.

3. Освоение дисциплины частично производится на базе учебных лабораторий кафедры ТСМ ФТФ в СарФТИ НИЯУ МИФИ учебного корпуса 4 и в производственных помещениях КБ-1 РФЯЦ-ВНИИЭФ (площадка Основная). Выполнение лабораторных работ, а также самостоятельной работы студентов осуществляется на рабочих местах, оснащенных ЭВМ. Здесь же проводятся консультации по текущим вопросам.

## **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

На практических занятиях по “Математическому моделированию в машиностроении” студенты осваивают программный комплекс ABAQUS, разрабатываемый специализированной фирмой по варианту укороченной версии для обучения студентов. Комплекс предназначен для решения задач газодинамики и механики деформируемого твердого тела. Студенты также практикуются в применении аналитических методов для решения практических задач упругопластического деформирования типовых элементов конструкций. При проведении практических занятий студентам прививаются также навыки работы с научной и учебно-методической литературой. Обязательным является самостоятельная работа студентов дома и в аудитории под руководством преподавателя, выполнение индивидуальных заданий, посещение международных и всероссийских конференций.

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Методические рекомендации для преподавателя по работе с рабочей программой**

Рабочая программа дисциплины “Математическое моделирование в машиностроении” определяет основные направления методики преподавания данной дисциплины.

Преподаватель должен:

- хорошо разбираться в математике;
- знать методику математического моделирования;
- осуществлять направленность дисциплины на решение вопросов базового предприятия (ВНИИЭФ).

Учебно-тематический план построен таким образом, чтобы практические и лабораторные занятия являлись органичным продолжением и дополнением лекционных занятий. Материал излагается в строгой последовательности: от определения свойств материала конструкций под воздействием приложенных нагрузок до конкретного применения расчетных методик в реальных, наиболее характерных для ВНИИЭФ конструкциях. Практические занятия проводятся в виде решения конкретных вопросов и задач по каждой теме.

### **Методические указания для студентов**

#### *Методические указания к практическим занятиям*

Тема практического занятия определяется темой предшествующего лекционного занятия. Подготовка к практическим занятиям является разделом самостоятельной работы. С целью подготовки к практическим занятиям рекомендуется обратить внимание на дополнительные вопросы, которые выдаются студентам в начале учебного семестра.

*Методические указания по организации самостоятельной работы*

Самостоятельная работа является обязательной при освоении дисциплины и курируется преподавателем. Практикуются две разновидности самостоятельной работы: домашняя подготовка соответствующих разделов по литературным источникам и домашние расчетные работы. Проверка домашней подготовки осуществляется путем опроса и проверки домашней работы соответственно.

**Автор:** доцент кафедры ТиЭМ, кандидат физико-математических наук, Агафонов Сергей Константинович

---

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Рецензент:** Халдеев В.Н., профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник КБ-1 РФЯЦ ВНИИЭФ

---

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.