Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор Департамента по образовательной политике
Дата подписания: 10.06.2025 14:48:24
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
_____ /М.Р. Рыбакова/
«27» февраля 2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

# Цифровые технологии вычислительной механики

Направление подготовки/специальность
**15.03.03 Прикладная механика**

Профиль/специализация
**Программирование и цифровые технологии в динамике и прочности**

Квалификация
**бакалавр**

Формы обучения
**очная**

Москва, 2025 г

**Разработчик(и):**

Доцент, к.т.н.  Руковицын И.Г.

**Согласовано:**
Заведующий кафедрой «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»,

Д.ф.-м.н., доцент  Скворцов А.А.

## 1 Цели и задачи дисциплины

### 1.1 Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины «Цифровые технологии вычислительной механики» является:

– формирование знаний о современных численных алгоритмах, методах моделирования и инженерного исследования конструкций машин для анализа напряженно-деформированного и термического состояний их деталей и узлов, освоение предназначенного для этого универсального программного обеспечения;

- подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению 15.03.03 «Прикладная механика».

### 1.2 Задачи дисциплины

Задачами дисциплины «Цифровые технологии вычислительной механики» являются:

- ознакомление студентов с широко применяемыми методами вычислительной механики и современным программным комплексом, реализующим данные методы для расчета напряженно-деформированного и теплового состояний деталей и узлов мобильных машин.

- знакомство студентов с методом конечных элементов, методом граничных элементов и другими методами вычислительной механики.

– изучение эффективных и высокопроизводительных численных алгоритмов, используемых в современных вычислительных комплексах для анализа напряженно-деформированного состояния машин.

- знакомство с основами расчетного моделирования конструкций мобильных машин с использованием одной из универсальных программ метода конечных элементов и одной из универсальных программ трехмерного автоматизированного проектирования.

## 2 Место дисциплины в структуре основных образовательных программ

Дисциплина «Цифровые технологии вычислительной механики» относится к вариативной части профессионального цикла основных образовательных программ (ООП) по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика».

Предшествующими курсами, на которых базируется дисциплина «Цифровые технологии вычислительной механики» являются:

- Высшая математика (линейная алгебра, математический анализ);
- физика;
- сопротивление материалов;
- основы расчета на устойчивость;
- теория упругости;

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен обладать следующими профессиональными (ПК) компетенциями:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| ПК-1 | Способен проводить расчет элементов конструкций и узлов ЛА на статическую прочность | **знать:**<br>• теоретические вопросы в области прикладной механики, связанные с постановкой задач расчетного анализа конструкций машин.<br>**уметь:**<br>• составлять расчетные модели для основных конструктивных элементов машин;<br>• проводить расчеты типовых конструктивных элементов машин на ЭВМ;<br>• моделировать нагрузки, действующие на рамы, кузова и другие конструкции машин;<br>• проводить анализ результатов расчетов напряжений, перемещений и других неизвестных параметров в конструктивных элементах машин, (в частности - рамах кузовах, деталях двигателей) при типовых видах нагружения.<br>**владеть:**<br>• методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции . |

## 4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы, т.е. 180 академических часа (из них 108 часов – самостоятельная работа студентов).

Дисциплина читается на третьем курсе в **седьмом** семестре. Проводятся семинары – 2 час в неделю (36 часов), лабораторные работы – 2 час в неделю (36 часов), форма контроля – экзамен.

| **Вид учебной работы** | **Всего часов** | **Семестр** |
|---|---|---|
| | | **7** |
| Общая трудоемкость | 180 (5 з.е.) | 180 (5 з.е.) |
| Аудиторные занятия (всего) | 72 | 72 |
| В том числе | | |
| лекции | нет | нет |
| Практические занятия | 36 | 36 |
| Лабораторные занятия | 36 | 36 |
| Самостоятельная работа студента | 108 | 108 |
| Курсовая работа | нет | нет |
| Курсовой проект | К.П. | К.П. |
| Вид промежуточной аттестации | | Экзамен |

Структура и содержание дисциплины «Цифровые технологии вычислительной механики» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

**Содержание разделов дисциплины.**

**Тема 1. Введение.**

Роль расчетных методов при создании новых конструкций машин. Обзор методов вычислительной механики, широко применяемых на машиностроительных предприятиях для анализа напряженно-деформированного и термического состояний деталей и узлов мобильных машин.

Современное программное обеспечение, реализующее методы вычислительной механики, для анализа напряженно-деформированного и термического состояний.

Обзор эффективных и производительных численных алгоритмов, реализуемых в программных комплексах для решения задач вычислительной механики.

Сравнительный анализ различных расчетных подходов в задачах вычислительной механики. Демонстрация результатов расчетных

исследований реальных конструкций. Проблемы выбора расчетной схемы. Характеристики моделей: точность, адекватность и экономичность.

Элементы матричной алгебры и вариационного исчисления.

**Тема 2. Сведения из механики деформируемого твердого тела.**

Перемещения, деформации, напряжения. Связь между напряжениями и деформациями. Уравнения равновесия. Граничные условия. Общие схемы решения задач механики конструкций. Принцип минимума потенциальной энергии.

**Тема 3. Метод конечных элементов как вычислительный метод решения задач механики.**

Основные понятия метода конечных элементов (МКЭ). Обзор типов конечных элементов. Особенности расчета конструкций с использованием МКЭ. Структура современного программного обеспечения МКЭ.

Способы вывода соотношений метода конечных элементов (МКЭ). Прямой метод получения конечно-элементных соотношений. Формирование глобальной матрицы жесткости конструкции из матриц жесткости отдельных элементов (на примере стержневой задачи).

Вариационные принципы - основа формирования разрешающих уравнений МКЭ. Вывод матричных уравнений МКЭ на основе принципа минимума потенциальной энергии. Основные матрицы МКЭ - жесткости, масс и др.. Векторы нагрузок от внешних сил. Учет начальных деформаций, предварительных напряжений. Распределенные нагрузки в конечно-элементных моделях. Приведение распределенных нагрузок к узлам конечно-элементной модели.

Аппроксимация неизвестных в МКЭ. Функции формы конечных элементов. Классы применяемых функций. Свойства функций формы. Требования к функциям формы. Точность решений МКЭ в зависимости от выбора функций формы.

Способы формирования математических моделей систем в различных координатных системах.

Численное интегрирование при вычислении коэффициентов матриц жесткости, масс и других матриц в МКЭ. Квадратурные формулы Гаусса – Лежандра.

**Тема 4. Метод конечных элементов в плоской задачи теории упругости**

Треугольный конечный элемент для решения плоской задачи теории упругости. Треугольные L-координаты площади.

**Тема 5. Изопараметрические конечные элементы**

Конечные элементы Лагранжева и Серендипова семейств. Функции формы изопараметрических конечных элементов. Субпараметрические, изопараметрические, суперпараметрические конечные элементы.

Естественные координаты изопараметрических элементов, их связь с физическими координатами. Дифференцирование по физическим координатам функций формы явно выраженных через естественные координаты. Четырехугольный билинейный изопараметрический конечный элемент плоского напряженного состояния. Объемный восьмиузловой шестигранный изопараметрический конечный элемент для моделирования трехмерного напряженно-деформированного состояния.

**Тема 6. Модели метода конечных элементов для расчета пластин и оболочек**

Конечные элементы для расчета изгиба пластин. Функции формы элементов. Совместность элементов. Комбинирование с элементами расчета плоского напряженного состояния для создания элементов оболочки общего положения. Конечные элементы тонкой осесимметричной оболочки.

**Тема 7. Моделирование в задачах теплопроводности**

Уравнение теплопроводности. Граничные условия для уравнения теплопроводности Учет граничных условий первого и второго рода. Стационарная теплопроводность. Уравнения Лапласа, Пуассона. Задачи Дирихле и Неймана. Учет граничных условий в задачах теплопроводности.

Решение уравнения нестационарной теплопроводности. Явная и неявная схемы треугольника, схема интегрирования Кранка-Николсона. Метод конечных разностей в сравнении с методом конечных элементов.

**Тема 8. Пути повышения точности расчетного анализа, выполняемого методом конечных элементов**

Преимущества и недостатки различных расчетных подходов при выполнении исследований конструкций мобильных машин методами вычислительной механики. Погрешности, возникающие при расчетах методом конечных элементов конструкций машин. Пути повышения точности выполняемого методом конечных элементов расчетного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций машин.

**5. Образовательные технологии**

Методика преподавания дисциплины «Цифровые технологии вычислительной механики» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению лабораторных работ в лабораториях вуза;

– защита и индивидуальное обсуждение выполняемых этапов курсового проекта;

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;

– организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования;

– проведение мастер-классов экспертов и специалистов в области численных методов и прикладной механики.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- подготовка к выполнению лабораторных работ и их защита.
- выполнение курсового проекта (по индивидуальному заданию для каждого обучающегося);

Курсовой проект представляет собой работу, посвященную разработке ряда вопросов метрологической подготовки машиностроительного производства в объеме, предусматривающем реализацию теоретических и практических навыков, обучающихся по направлению.

Примерная тема курсового проекта, выполняемого обучающимися в 6 семестре - «Моделирование напряженно-деформированного состояния и оценка энергетических свойств защитного экрана цистерны для перевозки опасных грузов при ее аварийном столкновении с препятствием».

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины, защита курсового проекта.

Образцы тестовых заданий, заданий курсовых проектов, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, приведены в приложении 2.

### 6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать |
|---|---|
| ПК-1 | Способен проводить расчет элементов конструкций и узлов ЛА на статическую прочность |

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

### 6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания.

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

| **ПК-1 Способен проводить расчет элементов конструкций и узлов ЛА на статическую прочность** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Показатель** | **Критерии оценивания** | | | |
| | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **знать:** теоретические вопросы в области прикладной механики, связанные с постановкой задач расчетного анализа конструкций машин. | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие теоретических знаний в области прикладной механики | Обучающийся демонстрирует неполные теоретические знания в области прикладной механики. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании | Обучающийся демонстрирует частичные теоретические знания в области прикладной механики, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | Обучающийся демонстрирует полные теоретические знания в области прикладной механики, свободно оперирует приобре-тенными знаниями. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | знаниями при их переносе на новые ситуации. | | |
| **уметь:**<br>составлять расчетные модели для основных конструктивных элементов машин;<br><br>проводить расчеты типовых конструктивных элементов машин на ЭВМ;<br><br>моделировать нагрузки, действующие на рамы, кузова и другие конструкции машин;<br><br>проводить анализ результатов расчетов напряжений, перемещений и других неизвестных параметров в конструктивных элементах машин, (в частности - рамах кузовах, деталях | Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет:<br>составлять расчетные модели для основных конструктивных элементов машин;<br>или<br>проводить расчеты типовых конструктивных элементов машин на ЭВМ;<br>или<br>моделировать нагрузки, действующие на рамы, кузова и другие конструкции машин;<br>или<br>проводить анализ результатов расчетов напряжений, перемещений и других неизвестных параметров в конструктивных элементах машин при типовых видах нагружения. | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений:<br><br>составлять расчетные модели для основных конструктивных элементов машин;<br>или<br>проводить расчеты типовых конструктивных элементов машин на ЭВМ;<br>или<br>моделировать нагрузки, действующие на рамы, кузова и другие конструкции машин;<br>или<br>проводить анализ результатов расчетов напряжений, перемещений и других неизвестных параметров в конструктивных элементах машин при типовых видах нагружения<br><br>Допускаются значительные ошибки, | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений:<br><br>составлять расчетные модели для основных конструктивных элементов машин;<br>или<br>проводить расчеты типовых конструктивных элементов машин на ЭВМ;<br>или<br>моделировать нагрузки, действующие на рамы, кузова и другие конструкции машин;<br>или<br>проводить анализ результатов расчетов напряжений, перемещений и других неизвестных параметров в конструктивных элементах машин при типовых видах нагружения<br><br>Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений:<br><br>составлять расчетные модели для основных конструктивных элементов машин;<br>или<br>проводить расчеты типовых конструктивных элементов машин на ЭВМ;<br>или<br>моделировать нагрузки, действующие на рамы, кузова и другие конструкции машин;<br>или<br>проводить анализ результатов расчетов напряжений, перемещений и других |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| двигателей) при типовых видах нагружения. | | проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | новые, нестандартные ситуации. | неизвестных параметров в конструктивных элементах машин при типовых видах нагружения<br><br>Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности. |
| **владеть:** методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции | Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции. | Обучающийся не в полной мере владеет методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции.<br><br>Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | Обучающийся частично владеет методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Обучающийся в полном объеме владеет методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции. Свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности. |

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».,

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Цифровые технологии вычислительной механики»: прошли промежуточный контроль, выполнили лабораторные работы, выполнили курсовой проект.

| **Шкала оценивания** | **Описание** |
|---|---|
| Отлично | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Хорошо | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом.<br>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков по предмету. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Удовлетворительно | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. |

| | |
|---|---|
| | Обучающийся демонстрирует значительные ошибки, проявляет недостаточность знаний, умений и владения навыками по нескольким темам предмета. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении умений и навыков в новых ситуациях. |
| Неудовлетворительно | Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |

**Фонды оценочных средств представлены в приложении 2 к рабочей программе.**

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

**а) основная литература:**

1. Савельев, Л. М. Строительная механика стержневых систем: учебное пособие / Л. М. Савельев. — Самара: Самарский университет, 2020. — 87 с. URL: https://e.lanbook.com/book/189022

**б) дополнительная литература:**

1. Темис, Ю.М. Расчет напряженно-деформированного состояния конструкций методом конечных элементов [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / Ю.М. Темис, Х.Х. Азметов. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 51 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/52253

2. Мишенков, Г.В. Метод конечных элементов в курсе сопротивления материалов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.В. Мишенков, Ю.Н. Самогин, В.П. Чирков. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2015. — 472 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/71992

**в) Электронные образовательные ресурсы**.

**Курс Вычислительная механика**

https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=12453

- универсальная программа метода конечных элементов, применяемая на предприятиях машиностроения;
- универсальная программа 3-D проектирования, применяемая на предприятиях машиностроения;
- офисное программное обеспечение.

Интернет-ресурсы не предусмотрены.

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

- Аудитория для лекционных и практических занятий общего фонда: столы учебные со скамьями, аудиторная доска, настенный проекционный экран. Рабочее место преподавателя: стол, стул.
- Компьютерный класс : столы, стулья, маркерная доска, компьютеры с прикладным тематическим программным обеспечением, подвесной проектор с интерактивной доской, Рабочее место преподавателя: стол, стул, компьютер.

## 9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

Задачами самостоятельной работы студентов являются:

1. Систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
2. Углубление и расширение теоретической подготовки;
3. Формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
4. Развитие познавательных способностей и активности студентов, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
5. Использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на практических занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и с материалами, полученными на лекционных, практических занятиях и лабораторных работах. Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

На основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных терминов, положений и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения разделов дисциплины.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать, перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.
Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем-консультантом и студентами, направленное на разрешение проблем и внесение позитивных изменений в деятельность студентов.

## 9.1 Методические указания по выполнению и оформлению курсовых проектов по дисциплине «Цифровые технологии вычислительной механики»

### 9.1.1 Требования к оформлению курсового проекта

1. Курсовой проект должен быть оформлен в виде на листах формата А4 со следующими полями:
   - Левое - 25 мм.
   - Верхнее - 15 мм.
   - Правое - 15 мм.
   - Нижнее - 15 мм.
2. Курсовой проект должен иметь титульный лист. Пример оформления титульного листа показан в приложении.
3. Курсовой проект должен содержать следующие разделы:
   - Содержание.
   - Введение.
   - Основная часть.
   - Заключение.
   - Список использованной литературы.
   - Приложения (не являются обязательной частью отчета).
4. Страницы отчета должны быть пронумерованы. Нумерация начинается со второй страницы. На титульном листе номер странице не проставляется.
5. В основной части находятся все пронумерованные главы, параграфы и подпараграфы.

   Нумерация параграфов и подпараграфов производятся следующим образом:

   - Первая цифра обозначает номер главы.
   - Вторая цифра - порядковый номер параграфа.
   - Третья цифра - порядковый номер подпараграфа.

   ***Например***, параграф 2 и подпараграф 5 параграфа 2 главы 3:

   - **III Описание расчетной схемы**
   - **3.2 Граничные условия**
   - **3.2.5 Граничные условия по перемещениям**

Нумерация рисунков производится следующим образом:

- Первая цифра обозначает номер главы.
- Вторая цифра - порядковый номер рисунка в главе.

***Например***, рисунок в главе 3, имеющий порядковый номер 11:

- Рис. 3.11. Диалоговое окно ввода исходных данных

Точка в конце названия главы, параграфа, подпараграфа и рисунка не ставится.

Название главы пишется заглавными полужирными буквами. Названия параграфов и подпараграфов пишутся строчными полужирными буквами, за исключением первой буквы, заглавной. Подпараграфы могут быть выделены курсивом.

6. Нумерация использованной литературы производится либо в алфавитном порядке, либо по мере ссылок на нее в тексте курсовой работы.

### 9.1.2 Требования к содержанию разделов курсового проекта

1. В **содержании** должны быть представлены названия всех глав, параграфов и подпараграфов с указанием номеров начальных страниц.

2. Во **введении** обосновывается актуальность и ставится цель работы, перечисляются решаемые задачи и дается краткое содержание всех глав. Для курсового проекта, содержащего конкретные задачи, дается постановка задач.

Теоретическая работа может носить описательный или методический характер.

***3.*** В **основной части** подробно описывается последовательность решения задачи.

***Примерный*** план основной части

- Постановка задачи. Сведения об объекте исследования и области машиностроения.
- Теоретические основы решения задачи, используемые алгоритмы.
- Описание программного обеспечения
- Исходные данные, описание расчетной схемы.
- Характеристики модели МКЭ. Количество элементов, узлов, степеней свободы.
- Описание типов конечных элементов.
- Информация об условиях закрепления и нагружения.
- Последовательность формирования модели средствами программы МКЭ, особенности подготовки модели.
- Информация о процессе решения задачи.
- Сведения о компьютере, характеристиках программы МКЭ (название, версия, возможности), необходимых вычислительных ресурсах, времени решения.

- Анализ результатов расчетов.

4. В **заключении** дается краткая оценка и основные выводы выполненной работы.

5. В **приложение** выносится информационный материал, не требующий детального рассмотрения в основной части (например, таблицы, графики, рисунки, листинги программ и т.п.)

### 9.1.3 Требования к выполнению курсового проекта

1. Курсовой проект должен быть оформлен согласно требованиям указанным выше.
2. Содержание курсового проекта должно соответствовать перечисленным выше требованиям.
3. Курсовой проект должен быть сдан за две недели до окончания семестра.

## 10. Методические рекомендации для преподавателя

Взаимодействие преподавателя со студентами можно разделить на несколько составляющих – лекционные, практические и лабораторные занятия и консультирование. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- четко представлять себе, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- познакомится с видами учебной работы;
- изучить содержание разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических и лабораторных занятий - обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного, лабораторного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Экзамен или зачет по дисциплине проводится в форме письменного экзамена с последующей индивидуальной беседой со студентом на основе вопросов, сформулированных в зачетных или экзаменационных билетах. В билет вносится два теоретических и один практический вопрос из различных разделов дисциплины для более полной проверки знаний студентов. Оценка выставляется преподавателем и объявляется после ответа. Преподаватель

принимающий зачет или экзамен лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

Приложение 1.

**Структура и содержание дисциплины «Цифровые технологии вычислительной механики» по направлению подготовки**
**15.03.03 «Прикладная механика»**
**(бакалавр)**

| n/n | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | К.Р. | К.П. | РГР | Реферат | К/р | Э | З |
| | **Седьмой семестр** | | | | | | | | | | | | | | |
| **1.1** | ***Тема 1. Введение*** | **7** | 1 | | **2** | | **4** | | | | | | | | |
| 1.2 | Лабораторная работа «Знакомство с интерфейсом универсального программного обеспечения метода конечных элементов» | 7 | 1 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| **1.3** | ***Тема 2. Сведения из механики деформируемого твердого тела*** | **7** | **2** | | **2** | | **6** | | | | | | | | |
| 1.4 | *Лабораторная работа «тема 2»* | 7 | 2 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| **1.5** | ***Тема 3. Метод конечных элементов как вычислительный метод решения задач механики*** | **7** | 3-4 | | **4** | | **12** | | | + | | | | | |
| 1.6 | *Лабораторная работа* «тема 3» | 7 | 3-4 | | | 4 | 2 | | | | | | | | |
| **1.7** | ***Тема 4. Метод конечных элементов в плоской задачи теории упругости*** | **7** | **5-6** | | **4** | | **12** | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.8 | *Лабораторная работа «тема 4».* | 7 | 5-6 | | | 4 | 2 | | | | | | | | |
| **1.9** | ***Тема 5. Изопараметрические конечные элементы*** | **7** | **7-8** | | **4** | | 12 | | | | | | | | |
| 1.10 | *Лабораторная работа «тема 5».* | 7 | 7-8 | | | 4 | 2 | | | | | | | | |
| **1.11** | ***Тема 6. Модели метода конечных элементов для расчета пластин и оболочек*** | **7** | **9-12** | | **8** | | **12** | | | | | | | | |
| 1.12 | Лабораторная работа «тема 6». | 7 | **9-12** | | | 8 | 2 | | | | | | | | |
| **1.13** | ***Тема 7. Моделирование в задачах теплопроводности*** | **7** | **13-14** | | **4** | | 12 | | | | | | | | |
| 1.14 | *Лабораторная работа «тема 7».* | 7 | 13-14 | | | 4 | 2 | | | | | | | | |
| **1.15** | ***Тема 8. Пути повышения точности расчетного анализа, выполняемого методом конечных элементов*** | **7** | **15-18** | | **8** | | **24** | | | | | | | | |
| 1.16 | *Лабораторная работа «тема 8».* | 7 | 15-18 | | | 8 | 2 | | | | | | | | |
| | ***Форма аттестации*** | | | | | | | | | + | | | | **Э** | |
| | Всего часов по дисциплине в седьмом семестре | | | | 36 | 36 | 108 | | | | | | | | |
| | **Всего часов по дисциплине во всех семестрах** | | | | 36 | 36 | 108 | | | | | | | | |

*рабочей программе*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки:

**15.03.03 «Прикладная механика»**

Профиль:

**Прикладная механика**

*Форма обучения: очная*

*Кафедра:* ***Динамика, прочность машин и сопротивление материалов***

# *ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ*

# ПО ДИСЦИПЛИНЕ

## «Цифровые технологии вычислительной механики»

**Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств**

**2. Описание оценочных средств:**

Составитель:

Русанов О.А.

*Москва, 2024 год*

Таблица 1

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

| **Цифровые технологии вычислительной механики** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ФГОС ВО 3 | | | | | |
| В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие **общепрофессиональные и профессиональные компетенции**: | | | | | |
| **КОМПЕТЕНЦИИ** | | **Перечень компонентов** | **Технология формирования компетенций** | **Форма оценочного средства** | **Степени уровней освоения компетенций** |
| **ИН-ДЕКС** | **ФОРМУЛИРОВ-КА** | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **ПК-1** | Способен проводить расчет элементов конструкций и узлов ЛА на статическую прочность | **знать:**<br>теоретические вопросы в области прикладной механики, связанные с постановкой задач расчетного анализа конструкций машин.<br>**уметь:**<br>составлять расчетные модели для основных конструктивных элементов машин;<br>проводить расчеты типовых конструктивных элементов машин на ЭВМ;<br>моделировать нагрузки, действующие на рамы, кузова и другие конструкции машин;<br>проводить анализ результатов расчетов напряжений, перемещений и других неизвестных параметров в конструктивных элементах машин, (в частности - рамах кузовах, деталях двигателей) при типовых видах нагружения.<br>**владеть:**<br>методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции . | Самостоя-тельная работа, лекции, практичес-кие занятия, лаборатор-ные работы | УО,<br>ДИ,<br>К,<br>К/<br>Р,<br>Т,<br>Р<br>Т | **Базовый уровень:**<br>- способен *представлять отдельные конструктивные элементы машин (в частности - рам, кузовов, деталей двигателей) в виде расчетных моделей для прикладных программ метода конечных элементов.*<br>Воспроизводство полученных знаний в ходе текущего контроля.<br>**Повышенный уровень:**<br>- способен *самостоятельно представлять отдельные конструктивные элементы машин (в частности - рам, кузовов, деталей двигателей) в виде расчетных моделей для прикладных программ метода конечных элементов;*<br>- способен *самостоятельно использовать современное программное обеспечение для анализа напряженно деформированного состояния и прочности деталей и узлов машин.*<br>практическое применение полученных знаний в процессе подготовки к семинарам, к выступлению с докладом |

*Приложение 3*
*к рабочей программе*

***Перечень оценочных средств по дисциплине***
***«Цифровые технологии вычислительной механики»***

| № ОС | Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в ФОС |
|---|---|---|---|
| 1 | Деловая и/или ролевая игра (ДИ) | Совместная деятельность группы обучающихся и педагогического работника под управлением педагогического работника с целью решения учебных и профессионально - ориентированных задач путем игрового моделирования реальной проблемной ситуации. Позволяет оценивать умение анализировать и решать типичные профессиональные задачи. | Тема (проблема), концепция, роли и ожидаемый результат по каждой игре |
| 2 | Кейс-задача (К-З) | Проблемное задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы. | Задания для решения кейс-задачи |
| 3 | Коллоквиум (К) | Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования педагогического работника с обучающимися. | Вопросы по темам/разделам дисциплины |
| 4 | Контрольная работа (К/Р) | Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу | Комплект контрольных заданий по вариантам |
| 5 | Круглый стол, дискуссия, полемика, диспут, дебаты | Оценочные средства, позволяющие включить обучающихся в процесс обсуждения спорного вопроса, проблемы и оценить их умение аргументировать собственную точку зрения. | Перечень дискуссионных тем для проведения круглого стола, дискуссии, полемики, диспута, дебатов |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6 | Проект (П) | Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся. | Темы групповых и/или индивидуальных проектов |
| 7 | Рабочая тетрадь (РТ) | Дидактический комплекс, предназначенный для самостоятельной работы обучающегося и позволяющий оценивать уровень усвоения им учебного материала. | Образец рабочей тетради |
| 8 | Разноуровневые задачи и задания (РЗЗ) | Различают задачи и задания:<br>а) репродуктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение правильно использовать специальные термины и понятия, узнавание объектов изучения в рамках определенного раздела дисциплины;<br>б) реконструктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей;<br>в) творческого уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения. | Комплект разноуровневых задач и заданий |
| 9 | Расчетно-графическая работа (РГР) | Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом. | Комплект заданий для выполнения расчетно-графической работы |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 10 | Реферат (Р) | Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее. | Темы рефератов |
| 11 | Доклад, сообщение (ДС) | Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы | Темы докладов, сообщений |
| 12 | Устный опрос собеседование, (УО) | Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. | Вопросы по темам/разделам дисциплины |
| 13 | Творческое задание (ТЗ) | Частично регламентированное задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся. | Темы групповых и/или индивидуальных творческих заданий |
| 14 | Тест (Т) | Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося. | Фонд тестовых заданий |
| 15 | Тренажер (Тр) | Техническое средство, которое может быть использовано для контроля приобретенных студентом профессиональных навыков и умений по управлению конкретным материальным объектом. | Комплект заданий для работы на тренажере |
| 16 | Эссе | Средство, позволяющее оценить умение обучающегося письменно излагать суть поставленной проблемы, самостоятельно проводить анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария соответствующей дисциплины, делать выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. | Тематика эссе |

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - **Цифровые технологии вычислительной механики**
Направление подготовки 15.03.03 «Прикладная механика». Профиль подготовки «Прикладная механика»

**Вопросы для контроля знаний по дисциплине «Цифровые технологии вычислительной механики»**

1. Особенности задачи обеспечения прочности несущих систем автомобилей, тракторов.
2. Типы конструкций кузов, рам автомобилей, тракторов. Модели кузовов, рам как объекта для расчета на прочность.
3. Плоское напряженное и плоское деформированное состояния.
4. Соотношения упругости для плоского напряженного состояния и для плоского деформированного состояния.
5. Связь между напряжениями и деформациями в плоском напряженном и плоском деформированном состоянии. Компоненты напряжений и деформаций, отличные от нуля в плоском напряженном и плоском деформированном состоянии.
6. Принцип минимума потенциальной энергии, как возможная основа МКЭ.
7. Основные понятия метода конечных элементов.
8. Определения: конечный элемент, степени свободы конечного элемента, узлы конечного элемента, функции формы конечных элементов.
9. Основные типы конечных элементов.
10. Степени свободы конечного элемента.
11. Функции формы конечных элементов.
12. Свойства функций формы.
13. Прямой метод получения соотношений МКЭ. Стержневой конечный элемент.
14. Основные матрицы в МКЭ.
15. Матрица функций формы конечного элемента.
16. Матрица деформаций конечного элемента.
17. Матрица жесткости стержневого конечного элемента.

18. Свойства матриц разрешающих систем линейных алгебраических уравнений в методе конечных элементов. Свойства матрицы жесткости.
19. Формирование глобальной матрицы жесткости конструкции из матриц жесткости отдельных элементов (на примере стержневой задачи).
20. Основные соотношения метода конечных элементов на основе принципа минимума потенциальной энергии.
21. Балочный конечный элемент.
22. Функции формы балочного конечного элемента (полиномы Эрмита).
23. Треугольный конечный элемент плоского напряженного состояния.
24. Треугольные координаты площади (L-координаты) как функции формы треугольного конечного элемента.
25. Гипотезы Кирхгоффа в теории изгиба пластин. Деформации при изгибе тонкой пластины
26. Прямоугольный конечный элемент тонкой пластины. Функции формы элемента. Треугольник Паскаля
27. Прямоугольный конечный элемент тонкой пластины. Выражение для потенциальной энергии.
28. Прямоугольный конечный элемент тонкой пластины.
29. Конечные элементы тонкой оболочки как суперпозиция конечных элементов тонкой пластины и элементов плоского напряженного состояния.
30. Одномерные функции формы изопараметрических конечных элементов.
31. Двумерные функции формы изопараметрических конечных элементов.
32. Билинейный изопараметрический конечный элемент.
33. Функции формы восьмиузлового объемного изопараметрического конечного элемента.
34. Структура современных программных комплексов метода конечных элементов.
35. Назначение и функции препроцессора в программах метода конечных элементов.
36. Назначение и функции решателя в программах метода конечных элементов.
37. Назначение и функции постпроцессора в программах метода конечных элементов.
38. Особенности расчета методом конечных элементов сварных соединений.
39. Погрешности при выполнении расчетов методом конечных элементов.
40. Способы повышения точности расчетного анализа напряженно-деформированного состояния элементов кузова автомобиля с помощью метода конечных элементов.

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Основные понятия метода конечных элементов. Задачи, решаемые методом. Его сравнение с другими методами вычислительной механики. Современное программное обеспечение.
2. Четырехугольный билинейный конечный элемент плосконапряженного состояния.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2**

1. Конечный элемент (определение). Узлы конечного элемента (определение). Степени свободы конечного элемента (определение). Функции формы конечного элемента (определение).
2. Треугольный линейный конечный элемент плосконапряженного состояния.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3**

1. Структура современных программных комплексов метода конечных элементов.
2. Метод статической конденсации в МКЭ.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4**

1. Погрешности при расчетах методом конечных элементов несущих конструкций мобильных машин.
2. Функции формы конечных элементов. Свойства функций формы.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5**

1. Способы повышения точности моделирования напряженно-деформированного состояния в задачах МКЭ.
2. Учет граничных условий в методе конечных элементов.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6**

1. Функции формы плоского билинейного 4-узлового конечного элемента.
2. Распределенные нагрузки в конечно-элементных моделях. Приведение распределенных нагрузок к узлам конечно-элементной модели.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7**

1. Функции формы плоского четырехугольного квадратичного 8-узлового конечного элемента.
2. Принцип минимума потенциальной энергии, как возможная основа МКЭ.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

---

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8**

1. Функция потенциальной энергии на примере системы с 1 степенью свободы. Энергия деформирования. Потенциал внешних сил.
2. Восьмиузловой шестигранный элемент для моделирования трехмерного напряженно-деформированного состояния.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9**

1. Основные матрицы в МКЭ. Матрицы функций формы, деформаций, жесткости, масс, эквивалентных узловых нагрузок.
2. Формирование глобальной матрицы жесткости конструкции из матриц жесткости отдельных элементов (на примере стержневой задачи).
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10**

1. Естественные координаты изопараметрических элементов. Их связь с физическими координатами. Дифференцирование по физическим координатам функций формы явно выраженных через естественные координаты.
2. Общее выражение для матрицы жесткости конечного элемента.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11**

1. Методы численного интегрирования функций одного аргумента, применяемые в МКЭ.
2. Субпараметрические, изопараметрические, суперпараметрические конечные элементы.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12**

1. Свойства матриц разрешающих систем линейных алгебраических уравнений в методе конечных элементов. Свойства матрицы жесткости.
2. Изопараметрические конечные элементы Серендипова семейства.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13**

1. Основные соотношения метода конечных элементов на основе принципа минимума потенциальной энергии.
2. Изопараметрические конечные элементы Лагранжева семейства.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14**

1. Функции формы изопараметрических конечных элементов Лагранжева и Серендипова семейств.
2. Квадратурные формулы Гаусса–Лежандра. Формула трапеций численного интегрирования. Формула Симпсона численного интегрирования
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15**

1. Естественные координаты изопараметрических элементов. Их связь с физическими координатами. Дифференцирование по физическим координатам функций формы явно выраженных через естественные координаты.
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Типы граничных условий. Подход к решению уравнения методом конечных разностей.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Цифровые технологии вычислительной механики
Направление 15.03.03 Прикладная механика
Курс 4 семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16**

1. Преимущества решения задач методом конечных элементов, с использованием элементов, которые построены на основе функций формы иерархического типа.
2. Методы численного интегрирования на плоских областях в МКЭ
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2021 г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/