Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 02.11.2023 13:06:26
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Московский политехнический университет

**УТВЕРЖДАЮ**
И.о. декана транспортного факультета
_____/М.Н. Лукьянов/
«08» 08 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
**Вычислительная механика**

Специальность

**23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства**

Профиль подготовки (образовательная программа)

**«Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении»**

Квалификация (степень) выпускника
**инженер**

Форма обучения
**Очная**

Москва 2022

## 1 Цели и задачи дисциплины

### 1.1 Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины «Вычислительная механика» является:

– формирование знаний о современных численных алгоритмах, методах моделирования и инженерного исследования конструкций автомобилей и тракторов 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 специалиста по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» (уровень специалитета), профиль: «Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении».

### 1.2 Задачи дисциплины

Задачами дисциплины «Вычислительная механика» 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 «Вычислительная механика» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1 дисциплин (модулей) профессионального цикла основных образовательных программ (ООП) по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» (уровень специалитета), профиль: «Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении».

Предшествующими курсами, на которых базируется дисциплина «Вычислительная механика» являются:

- математика;
- физика;
- сопротивление материалов;
- прикладные методы расчетов на прочность;
- теория упругости;
- детали машин и основы конструирования.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен обладать следующими профессиональными (ПК) и профессионально-специализированными компетенциями:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| УК-1 | Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | **знать:**<br>• теоретические вопросы в области вычислительной 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 рамах кузовах, деталях двигателей) при типовых видах нагружения.<br>**владеть:**<br>• методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции . |
| ПК-1 | Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов. | **знать:**<br>• вычислительные алгоритмы, применяемые в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформированного состояния конструкций |

| | | |
|---|---|---|
| | | транспортно-технологических средств и из технологического оборудования.<br>**уметь:**<br>• использовать современное программное обеспечение для расчетного анализа напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования .<br>**владеть:**<br>• навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для расчета напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования . |

## 4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единицы, т.е. 252 академических часа (из них 126 часов – самостоятельная работа студентов).

Дисциплина читается на четвертом курсе в **седьмом и восьмом** семестрах. Проводятся лекции – 36 часов, семинары – 18 часов, лабораторные работы – 72 часа, форма контроля – зачет (седьмой семестр), экзамен (восьмой семестр).

| **Вид учебной работы** | **Всего часов** | **Семестр** | |
|---|---|---|---|
| | | **7** | **8** |
| Общая трудоемкость | 252 (7 з.е.) | 108 (3 з.е.) | 144 (4 з.е.) |
| Аудиторные занятия (всего) | 126 | 54 | 72 |
| В том числе | | | |
| лекции | 36 | 18 | 18 |
| Практические занятия | 18 | - | 18 |
| Лабораторные занятия | 72 | 36 | 36 |
| Самостоятельная работа студента | 126 | 54 | 72 |
| Курсовая работа | нет | нет | нет |
| Курсовой проект | нет | нет | нет |
| Вид промежуточной аттестации | | Зачет | Экзамен |

Структура и содержание дисциплины «Вычислительная механика» 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). Стержневой конечный элемент. Балочный конечный элемент.

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. Вычислительные методы решения плоской задачи теории упругости**

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

**Тема 5. Вычислительные методы решения объемной задачи теории упругости. 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. Вычислительные методы 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. Вычислительные методы 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 в задачах механики**

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 «Вычислительная механика» 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 |
|---|---|
| УК-1 | Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий |
| ПК-1 | Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов. |

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).

| **УК-1 – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Показатель** | **Критерии оценивания** | | | |
| | **2** | **3** | **4** | **5** |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **знать:**<br>теоретические вопросы в области вычислительной механики, связанные с постановкой задач расчетного анализа конструкций машин. | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие теоретических знаний в области вычислительной механики | Обучающийся демонстрирует неполные теоретические знания в области вычислительной механики. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации. | Обучающийся демонстрирует частичные теоретические знания в области вычислительной механики, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | Обучающийся демонстрирует полные теоретические знания в области вычислительной механики, свободно оперирует приобре-тенными знаниями. |
| **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 | 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 | 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 | 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 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| неизвестных параметров в конструктивных элементах машин, (в частности - рамах кузовах, деталях двигателей) при типовых видах нагружения. | | конструктивных элементах машин при типовых видах нагружения<br><br>Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | элементах машин при типовых видах нагружения<br><br>Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | конструкции машин;<br>или проводить анализ результатов расчетов напряжений, перемещений и других неизвестных параметров в конструктивных элементах машин при типовых видах нагружения 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.<br>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. |

| **ПК-1 Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов.** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Показатель** | **Критерии оценивания** | | | |
| | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **знать:** вычислительные алгоритмы, применяемые в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформированного состояния конструкций транспортно-технологических средств и их технологическо-го оборудования. | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний вычислительных алгоритмов, применяемых в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформированного состояния конструкций транспортно-технологических средств и их технологического оборудования. | Обучающийся демонстрирует неполные знания вычислительных алгоритмов, применяемых в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформированного состояния конструкций транспортно-технологических средств и их технологического оборудования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации. | Обучающийся демонстрирует частичные знания в области вычислительных алгоритмов, применяемых в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформированного состояния конструкций транспортно-технологических средств и их технологического оборудования, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | Обучающийся демонстрирует полные знания в области вычислительн ых алгоритмов, применяемых в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформирован ного состояния конструкций транспортно-технологическ их средств и их технологическ ого оборудования, свободно оперирует приобре-тенными знаниями. |
| **уметь:** использовать современное программное обеспечение для расчетного анализа напряженно деформированно | Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет: использовать современное программное обеспечение для расчетного анализа напряженно деформированного | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений:<br><br>использовать современное | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений:<br><br>использовать современное программное | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений:<br><br>использовать |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| го состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологическог о оборудования. | состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования. | программное обеспечение для расчетного анализа напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования.<br><br>Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | обеспечение для расчетного анализа напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования.<br><br>Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | современное программное обеспечение для расчетного анализа напряженно деформирован ного состояния деталей и узлов транспортно-технологическ их средств и их технологическ ого оборудования.<br><br>Свободно оперирует приобретенны ми умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности. |
| **владеть:** навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для расчета напряженно деформированно го состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологическог о оборудования. | Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для расчета напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования. | Обучающийся не в полной мере владеет навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для расчета напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования.<br><br>Допускаются значительные ошибки, проявляется | Обучающийся частично владеет навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для расчета напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования.<br>Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, | Обучающийся в полном объеме владеет навыками использования одной из современных вычислительн ых программ, реализующей метод конечных элементов, для расчета напряженно деформирован ного состояния деталей и узлов транспортно-технологическ их средств и их |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | технологическ ого оборудования. Свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности. |

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

**Форма промежуточной аттестации: зачет (семестр 7), экзамен (семестр 8).**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю) в семестре 7, 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 «Вычислительная механика» в семестре 7 выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой в семестре 7 по дисциплине, прошли промежуточный контроль.

| **Шкала оценивания** | **Описание** |
|---|---|
| Зачтено | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом<br><br>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<br><br>или<br><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<br><br>или<br><br>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. |
| Не зачтено | Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом.<br>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. |

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 «Вычислительная механика»: прошли промежуточный контроль, выполнили лабораторные работы.

| **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. 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. Макаров, Е. Г. Сопротивление материалов с использованием вычислительных комплексов : учебное пособие для вузов / Е. Г. Макаров. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 413 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01761-8.

URL: https://urait.ru/bcode/453500

2. Кривошапко, С. Н. Строительная механика : учебник и практикум для вузов / С. Н. Кривошапко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 391 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01124-1.

URL: https://urait.ru/bcode/449733

**б) дополнительная литература:**

1. Солдаткин, А. В. Введение в метод конечных элементов : учебное пособие / А. В. Солдаткин, Е. С. Баранова. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2020. — 123 с. — ISBN 978-5-907324-05-3.

URL: https://e.lanbook.com/book/172238

**в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:**

Программное обеспечение:

- 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 расчетных работ по дисциплине «Вычислительная механика»

### 9.1.1 Требования к оформлению расчетной работы

1. Расчетная работа должна быть оформлена в виде на листах формата А4 со следующими полями:
   - Левое - 25 мм.
   - Верхнее - 15 мм.
   - Правое - 15 мм.
   - Нижнее - 15 мм.
2. Расчетная работа должна иметь титульный лист. Пример оформления титульного листа показан в приложении.
3. Расчетная работа должна 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 расчетной работы

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 расчетной работы

1. Расчетная работа должна быть оформлена согласно требованиям указанным выше.
2. Содержание расчетной работы должно соответствовать перечисленным выше требованиям.
3. Расчетная работа должна быть сдана 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 «Вычислительная механика» по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», профиль: «Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении»**

| 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 | **2** | | | **6** | | | | | | | | |
| 1.2 | Лабораторная работа «Знакомство с интерфейсом универсального программного обеспечения метода конечных элементов» | 7 | 1-2 | | | 4 | | | | | | | | | |
| **1.3** | ***Тема 2. Сведения из механики деформируемого твердого тела*** | **7** | **3-6** | **4** | | | **12** | | | | | | | | |
| 1.4 | *Лабораторная работа «тема 2»* | 7 | 3-6 | | | 8 | | | | | | | | | |
| **1.5** | ***Тема 3. Метод конечных элементов как вычислительный метод решения задач механики*** | **7** | 7-12 | **6** | | | **18** | | | | | | | | |
| 1.6 | *Лабораторная работа* «тема 3» | 7 | 7-12 | | | 12 | | | | | | | | | |
| **1.7** | ***Тема 4. Вычислительные методы решения плоской задачи теории упругости*** | **7** | **13-18** | **6** | | | **18** | | | | | | | | |
| 1.8 | *Лабораторная работа «тема 4».* | 7 | 13-18 | | | 12 | | | | | | | | | |
| | ***Форма аттестации*** | 7 | | | | | | | | | | | | | **З** |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Всего часов по дисциплине в седьмом семестре | 7 | | 18 | - | 36 | 54 | | | | | | | | |
| | **Восьмой семестр** | 8 | | | | | | | | | | | | | |
| **1.9** | ***Тема 5. Вычислительные методы решения объемной задачи теории упругости. Изопараметрические конечные элементы.*** | 8 | 1-4 | 4 | 4 | | 16 | | | | | | | | |
| 1.10 | *Лабораторная работа «тема 5».* | 8 | 1-4 | | | 8 | | | | | | | | | |
| **1.11** | ***Тема 6. Вычислительные методы для расчета пластин и оболочек*** | 8 | 5-8 | 4 | 4 | | 16 | | | | | | | | |
| 1.12 | Лабораторная работа «тема 6». | 8 | 5-8 | | | 8 | | | | | | | | | |
| **1.13** | ***Тема 7. Вычислительные методы в задачах теплопроводности*** | 8 | 9-14 | 6 | 6 | | 24 | | | | | | | | |
| 1.14 | *Лабораторная работа «тема 7».* | 8 | 9-14 | | | 12 | | | | | | | | | |
| **1.15** | ***8. Пути повышения точности расчетного анализа в задачах механики*** | 8 | 15-18 | 4 | 4 | | 16 | | | | | | | | |
| 1.16 | *Лабораторная работа «тема 8».* | 8 | 15-18 | | | 8 | | | | | | | | | |
| | ***Форма аттестации*** | 8 | | | | | | | | | | | | **Э** | |
| | Всего часов по дисциплине в восьмом семестре | 8 | | 18 | 18 | 36 | 72 | | | + | | | | | |
| | **Всего часов по дисциплине во всех семестрах** | | | 36 | 18 | 72 | 126 | | | | | | | | |

*Приложение 2 к*
*рабочей программе*

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

Специальность:
**23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства**

Профиль:
**Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении**
*Форма обучения: очная*

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

# *ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ*

# ПО ДИСЦИПЛИНЕ
**«Вычислительная механика»**

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

**2. Описание оценочных средств:**

*Москва, 2022 год*

Таблица 1

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

| **Вычислительная механика** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 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** |
| **ИНДЕКС** | **ФОРМУЛИРОВКА** | | | | |
| **УК-1** | Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | **знать:**<br>теоретические вопросы в области вычислительной механики, связанные с постановкой задач расчетного анализа конструкций машин.<br><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 рамах кузовах, деталях двигателей) при типовых видах нагружения.<br><br>**владеть:**<br>методами вычислительной механики применительно к элементам машиностроительных конструкции . | Самостоятельная работа, лекции, практические занятия, лабораторные работы | УО, | **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><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.* |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | практическое применение полученных знаний в процессе подготовки к семинарам, к выступлению с докладом |
| **ПК-1** | Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов. | **знать:**<br>вычислительные алгоритмы, применяемые в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформированного состояния конструкций транспортно-технологических средств и их технологического оборудования .<br><br>**уметь:**<br>использовать современное программное обеспечение для расчетного анализа напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования .<br><br>**владеть:**<br>навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для расчета напряженно деформированного состояния деталей и узлов транспортно-технологических средств и их технологического оборудования . | Самостоя-тельная работа, лекции, практичес-кие занятия, лабораторны е работы | УО, | **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><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***
***«Вычислительная механика»***

| № ОС | Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в ФОС |
|---|---|---|---|
| 1 | 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 |

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - **Вычислительная механика**
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средств
Профиль: **Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении**

## Вопросы для контроля знаний по дисциплине «Вычислительная механика»

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность- - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Направление - - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3**

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

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 2017 г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __
Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

---

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

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

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ,
кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Вычислительная механика
Специальность - 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4 семестр 8

**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 «__» _____ 20__ г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/