Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 18.09.2025 15:56:56
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Метод конечных элементов»

Направление подготовки
23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы
Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Форма обучения
Очная

Москва 2025 г.

Разработчик(и):
Профессор, д.т.н. / О.А. Русанов /

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Динамика, прочность машин
и сопротивление материалов»,
д.ф.-м.н., доцент / А.А. Скворцов /

1 Цели и задачи дисциплины

1.1 Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины «Метод конечных элементов» 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, реализующего метод конечных элементов;

- подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой магистра по направлению 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы, профиль: «Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»

1.2 Задачи дисциплины

Задачами дисциплины «Метод конечных элементов» являются:

- ознакомление студентов с широко применяемыми методами вычислительной механики и современным программным комплексом, реализующим метод конечных элементов для расчета напряженно-деформированного и теплового состояний деталей и узлов автомобилей и тракторов.

– изучение эффективных и высокопроизводительных численных алгоритмов, используемых в современных вычислительных комплексах метода конечных элементов 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 «Метод конечных элементов» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений основной образовательной программы (ООП) по направлению подготовки магистра по направлению 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы, профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»".

Дисциплина «Метод конечных элементов» связана со следующими дисциплинами ООП:

- компьютерные технологии в науке;
- компьютерное моделирование и прочностной анализ;

- вычислительная механика и компьютерный инжиниринг;
- компьютерный анализ динамики машин;

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-1	Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов	ИПК-1.1 Систематизирует инженерные данные с учетом технических требований ИПК-1.2 Определяет методики расчетов систем АТС и их компонентов ИПК-1.3 Анализирует влияние ключевых факторов на выходные характеристики АТС и их компонентов ИПК-1.4 Анализирует прочностные свойства материалов и прочностные свойства компонентов АТС, связанных особенностями конструкций ИПК-1.5 Анализирует лучшие практики разработки АТС и их компонентов

4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, т.е. **108** академических часов (из них 60 часа – самостоятельная работа студентов).

Дисциплина читается на первом курсе в **первом** семестре. Проводятся лекции – 1 час в неделю (16 часов), семинары – 2 часа в неделю (32 часов), форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Метод конечных элементов» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины.

Тема 1. Введение.

Роль расчетных методов и метода конечных элементов, в частности, при проектировании и доводке автомобилей и тракторов для анализа напряженно-деформированного и термического состояний деталей и узлов для обеспечения их прочности. Обзор задач, решаемых методом конечных элементов.

Современное программное обеспечение, реализующее метод конечных элементов, для анализа напряженно-деформированного и термического состояний деталей и узлов автомобилей и тракторов. Структура программного обеспечения метода конечных элементов.

Обзор эффективных и производительных численных алгоритмов, реализуемых в программных комплексах для решения задач вычислительной механики. Основные вычислительные затраты при решении задач методом конечных элементов.

Сравнительный анализ различных расчетных подходов в задачах обеспечения прочности конструкций автомобилей и тракторов. Демонстрация результатов расчетных исследований методом конечных конструкций машин. Проблемы выбора расчетной схемы. Характеристики расчетных моделей: точность, адекватность и экономичность.

Тема 2. Сведения из математики и механики деформируемого твердого тела.

Элементы матричной алгебры и вариационного исчисления.

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. Стержневой конечный элемент. 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.

Балочный конечный элемент. Функции формы балочного конечного элемента. Полиномы Эрмита как функции формы балочного элемента.

Способы формирования соотношений метода конечных элементов 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 задаче плоского напряженного, плоского деформированного состояний

Треугольный конечный элемент для решения плоской задачи теории упругости. Треугольные L-координаты площади. Использование L-координат для построения функций формы плоского треугольного конечного элемента. Связь L-координат с физическими (декартовыми) координатами треугольного конечного элемента. Дифференцирование L-координат по физическим (декартовым) координатам элемента. Матрица жесткости плоского треугольного конечного элемента.

Тема 5. Теория изопараметрических конечных элементов

Функции формы изопараметрических конечных элементов. Изопараметрические конечные элементы Лагранжева и Серендипова семейств. 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.

Базисные функции конечных элементов иерархического типа. Преимущества решения задач с использованием элементов на основе функций формы иерархического типа.

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 теплопроводности методом конечных элементов

Уравнение теплопроводности. Граничные условия для уравнения теплопроводности Учет граничных условий первого, второго и третьего рода. Стационарная теплопроводность. Уравнения Лапласа, Пуассона. Формулировка метода конечных элементов для решения уравнения теплопроводности на основе метода Бубнова-Галеркина. Учет граничных условий в задаче теплопроводности.

Решение задачи нестационарной теплопроводности методом конечных элементов. Явная и неявная схемы треугольника, схема интегрирования Кранка-Николсона.

Тема 8. Эффективные численные алгоритмы, используемые в современном программном обеспечении метода конечных элементов

Свойства матриц систем линейных алгебраических уравнений при моделировании МКЭ. Алгоритмы решения систем больших систем линейных алгебраических уравнений с симметричными разреженными матрицами. Метод LDL^T для решения систем линейных алгебраических уравнений в МКЭ. Область применимости метода LDL^T. Итерационные методы решения сверхбольших систем МКЭ. Метод сопряженных градиентов. Ускорение прямых и итерационных методов за счет специальных процедур нумерации узлов конечно-элементных моделей.

Способы хранения разреженных матриц в МКЭ. Заполнение разреженных матриц МКЭ при решении систем уравнений прямыми методами. Методы экономии памяти и повышения скорости решения МКЭ. Представление с помощью теории графов процесса исключения степеней свободы. Алгоритмы выбора оптимального порядка исключения Коллинза, Катхилла-Макки, параллельных и вложенных сечений.

Возможности параллельного решения задач методом конечных элементов. Обзор численных алгоритмов параллельного решения систем алгебраических уравнений МКЭ на многоядерных и многопроцессорных вычислительных системах.

Тема 9. Пути повышения точности расчетного анализа конструкций автомобилей и тракторов, выполняемого методом конечных элементов

Основные приемы и способы моделирования деталей, узлов и конструкций автомобилей и тракторов методом конечных элементов. Особенности расчетных схем и конечно-элементных моделей деталей, узлов и конструкций автомобилей и тракторов. Преимущества и недостатки различных расчетных подходов при выполнении исследований конструкций автомобилей и тракторов численными методами. 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 «Метод конечных элементов» 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 практических работ в лабораториях вуза;

– 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.

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

Образцы тестовых заданий, заданий курсовых проектов, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, приведены в приложении 4.

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 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).

ПК-1 Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов				
Показатель	**Критерии оценивания**			
	2	**3**	**4**	**5**
знать: направления развития вычислительных методов в механике и эффективные вычислительные алгоритмы, применяемые в современном программном обеспечении для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности.	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний направления развития вычислительных методов в механике и эффективные вычислительные алгоритмы, применяемые в современном программном обеспечении для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности.	Обучающийся демонстрирует неполные знания направления развития вычислительных методов в механике и эффективные вычислительные алгоритмы, применяемые в современном программном обеспечении для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности. 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 направления развития вычислительных методов в механике и эффективные вычислительные алгоритмы, применяемые в современном программном обеспечении для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полные знания в области направления развития вычислительных методов в механике и эффективные вычислительные алгоритмы, применяемые в современном программном обеспечении для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: использовать современное программное обеспечение для решения проблемы производства	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет: использовать современное программное обеспечение для решения проблемы производства наземных	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: использовать современное программное	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: использовать современное	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: использовать современное программное

наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности.	транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности.	обеспечение для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	программное обеспечение для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	обеспечение для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности.	Обучающийся не в полной мере владеет навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при	Обучающийся частично владеет навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности,	Обучающийся в полном объеме владеет навыками использования одной из современных вычислительных программ, реализующей метод конечных элементов, для решения проблемы производства наземных транспортно-технологических машин, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности. Свободно применяет полученные навыки

		применении навыков в новых ситуациях.	затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	в ситуациях повышенной сложности.

ПК-1 Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов				
Показатель	**Критерии оценивания**			
	2	**3**	**4**	**5**
знать: критерии оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности.	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие знаний или недостаточное соответствие знаний в области: критерии оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности.	Обучающийся демонстрирует неполные знания в области критерии оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности. 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 критерии оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полные знания в области критерии оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности, свободно оперирует приобретенными знаниями.

уметь: пользоваться возможностями, предоставляемыми современным программным обеспечением метода конечных элементов для оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности.	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет: пользоваться возможностями, предоставляемыми современным программным обеспечением метода конечных элементов для оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: пользоваться возможностями, предоставляемыми современным программным обеспечением метода конечных элементов для оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: пользоваться возможностями, предоставляемыми современным программным обеспечением метода конечных элементов для оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: пользоваться возможностями, предоставляемыми современным программным обеспечением метода конечных элементов для оценки и сравнения проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности и конкурентоспособности. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: приемами обработки данных и эффективными алгоритмами интерпретации результатов компьютерного анализа напряженно-деформированного и теплового состояний деталей и узлов машин.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет приемами обработки данных и эффективными алгоритмами интерпретации результатов компьютерного анализа напряженно-деформированного и теплового состояний деталей и узлов машин.	Обучающийся владеет не в полной мере приемами обработки данных и эффективными алгоритмами интерпретации результатов компьютерного анализа напряженно-деформированного и теплового состояний деталей и узлов машин. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет приемами обработки данных и эффективными алгоритмами интерпретации результатов компьютерного анализа напряженно-деформированного и теплового состояний деталей и узлов машин. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет приемами обработки данных и эффективными алгоритмами интерпретации результатов компьютерного анализа напряженно-деформированного и теплового состояний деталей и узлов машин. 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, при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Метод конечных элементов».

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	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускает незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических расчетах.
Удовлетворительно	Обучающийся демонстрирует неполные знания, умения, навыки приведенным в таблицах показателей проявляет недостаточность знаний, испытывает затруднения при попытке применить знания для новых конструкций.
Неудовлетворительно	Не выполнено более одного из видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков показателям, приведенным в таблицах, допускает значительные ошибки, проявляет отсутствие

	знаний, умений, навыков по ряду показателей, испытывает, значительны затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые конструкции

Фонды оценочных средств представлены в приложении 4 к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

основная литература:

1. Валишвили, Н. В. Сопротивление материалов и конструкций : учебник для вузов / Н. В. Валишвили, С. С. Гаврюшин. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 429 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8247-3.

URL: https://urait.ru/bcode/489807

2. Тухфатуллин, Б. А. Численные методы расчета строительных конструкций. Метод конечных элементов : учебное пособие для вузов / Б. А. Тухфатуллин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 157 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08899-1.

URL: https://urait.ru/bcode/494547

б) дополнительная литература:

1. Подъемно-транспортные машины: расчет металлических конструкций методом конечных элементов: учебное пособие для вузов / А. В. Лагерев, А. В. Вершинский, И. А. Лагерев, А. Н. Шубин ; под редакцией А. В. Лагерева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 178 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12649-5.

URL: https://urait.ru/bcode/496396

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.

Электронный образовательный ресурс: «Метод конечных элементов» https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=1412

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Компьютерный класс : столы, стулья, маркерная доска, компьютеры, подвесной проектор, настенный проекционный экран. Рабочее место преподавателя: стол, стул **.**
Аудитория для лекционных и практических занятий общего фонда , столы учебные со скамьями, аудиторная доска. Рабочее место преподавателя: стол, стул.

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 заданий по дисциплине «Метод конечных элементов»

9.1.1 Требования к оформлению выполненных расчетных заданий

- Выполненное расчетное задание должно быть оформлено на листах формата А4 со следующими полями:
  - Левое - 25 мм.
  - Верхнее - 15 мм.
  - Правое - 15 мм.
  - Нижнее - 15 мм.
- Выполненное расчетное задание должно иметь титульный лист. Пример оформления титульного листа показан в приложении.
- Выполненное расчетное задание должно содержать следующие разделы:
  - Содержание.
  - Введение.
  - Основная часть.
  - Заключение.
  - Список использованной литературы.
  - Приложения (не являются обязательной частью отчета).
- Страницы отчета должны быть пронумерованы. Нумерация начинается со второй страницы. На титульном листе номер странице не проставляется.
- 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.

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

Примеры оформления литературы.

Книги:

- Бидерман В.Л. – Теория механических колебаний. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.
- Bathe K.J. – Finite Element Procedures. Prentice Hall, 1996. - 1037 p.

Журналы:

- Борисов Ю.С., Благовещенский Ю.Н., Дмитриченко С.С., Панкратов Н.М. Анализ применимости уравнений и исследование формы кривой усталости // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, №10, 2000. С. 41-52.
- Bator J.L., Bathe K.J., Ho L.W. A study of three-node triangular plate bending elements // Int. J. Numer. Meth. Engng, v.15, 1980. P. 1771 – 1812.

9.1.2 Требования к содержанию разделов выполненных расчетных заданий

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. 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 расчетных заданий

1. Расчетное задание должно быть оформлено согласно требованиям указанным выше.
2. Содержание расчетного задания должно соответствовать перечисленным выше требованиям.
3. Расчетное задание должно быть сдано 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 «Метод конечных элементов»
по **направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»**

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
	Первый семестр														
1.1	***Тема 1. Введение***	**1**	1-2	**2**	**4**		7								
1.2	***Тема 2. Сведения из математики и механики деформируемого твердого тела.***	**1**	**3-4**	**2**	**4**		7								
1.3	***Тема 3. Метод конечных элементов как вычислительный метод решения задач механики***	**1**	3-4	**2**	**2**		7								
1.4	***Тема 4. Метод конечных элементов задаче плоского напряженного, плоского деформированного состояний***	**1**	**5-6**	**2**	**4**		7								
1.5	***Тема 5. Теория изопараметрических конечных элементов***	**1**	**7-8**	**2**	**4**		7								
1.6	***Тема 6. Модели метода конечных элементов для расчета пластин и оболочек***	**1**	**9-10**	**2**	**4**		7								
1.7	***Тема 7. Моделирование теплопроводности методом***	**1**	**11-12**	**2**	**4**		6								

	конечных элементов														
1.8	***Тема 8. Эффективные численные алгоритмы, используемые в современном программном обеспечении метода конечных элементов.***	**1**	**13-14**	**2**	**4**		6								
1.9	***Тема 9. Пути повышения точности расчетного анализа конструкций автомобилей и тракторов, выполняемого методом конечных элементов.***	**1**	**15-16**		**4**		6								
	Форма аттестации													**Э**	
	Всего часов по дисциплине В первом семестре			16	32		60								
	Всего часов по дисциплине			16	32		60								

Приложение 2 к рабочей программе

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

по **направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»**

Форма обучения: очная
Вид профессиональной деятельности: (В соответствии с ФГОС ВО)

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Метод конечных элементов»

Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств

2. Описание оценочных средств:
Зачетные задания.

Москва, 2025год

Таблица 1

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Метод конечных элементов					
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 организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов	ИПК-1.1 Систематизирует инженерные данные с учетом технических требований ИПК-1.2 Определяет методики расчетов систем АТС и их компонентов ИПК-1.3 Анализирует влияние ключевых факторов на выходные характеристики АТС и их компонентов ИПК-1.4 Анализирует прочностные свойства материалов и прочностные свойства компонентов АТС, связанных особенностями конструкций ИПК-1.5 Анализирует лучшие практики разработки АТС и их компонентов	Самостоя-тельная работа, лекции, практические занятия	УО	**Базовый уровень:** - способен ориентироваться в направлениях развития вычислительных методов в механике и разбираться в способах использования эффективных вычислительных алгоритмах, применяемых в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформированного и теплового состояний конструкций автомобилей и тракторов. Воспроизводство полученных знаний в ходе текущего контроля. **Повышенный уровень:** - способен самостоятельно ориентироваться в направлениях развития вычислительных методов в механике и разбираться в способах использования эффективных вычислительных алгоритмах, применяемых в современном программном обеспечении для решения прикладных задач анализа напряженно деформированного и теплового состояний конструкций автомобилей и тракторов; - способен самостоятельно использовать современное программное обеспечение для анализа напряженно деформированного состояния и прочности

Приложение 3
к рабочей программе

Перечень оценочных средств по дисциплине
«Метод конечных элементов»

№ 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

Вопросы для проведения устного опроса

1. Основные понятия метода конечных элементов. Современное программное обеспечение. Последовательность решения задач методом конечных элементов.
2. Конечный элемент (определение). Узлы конечного элемента (определение). Степени свободы конечного элемента (определение). Функции формы конечного элемента (определение).
3. Структура современных программных комплексов метода конечных элементов.
4. Назначение и функции препроцессора в программах метода конечных элементов.
5. Назначение и функции решателя в программах метода конечных элементов.
6. Назначение и функции постпроцессора в программах метода конечных элементов.
7. Напряжения и деформации (понятия, единицы измерения). Выражения деформаций через перемещения. Линейные соотношения между напряжениями и деформациями.
8. Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Компоненты напряжений и деформаций, отличные от нуля.
9. Соотношения упругости для плоского напряженного состояния.
10. Функции формы конечных элементов. Свойства функций формы.
11. Функции формы стержневого конечного элемента.
12. Функции формы плоского треугольного конечного элемента.
13. Функции формы балочного конечного элемента. Полиномы Эрмита.
14. Функции формы плоского билинейного 4-узлового конечного элемента.
15. Функции формы плоского четырехугольного квадратичного 8-узлового конечного элемента.
16. Функции формы плоского четырехугольного квадратичного 9-узлового конечного элемента.
17. Функции формы шестигранного объемного 8-узлового конечного элемента с линейной аппроксимацией.
18. Функции формы шестигранного объемного 20-узлового конечного элемента с квадратичной аппроксимацией.
19. Прямой метод получения соотношений МКЭ.
20. Принцип минимума потенциальной энергии, как возможная основа МКЭ.
21. Функция потенциальной энергии на примере системы с 1 степенью свободы. Энергия деформирования. Потенциал внешних сил.
22. Общее выражение для матрицы жесткости конечного элемента.

23. Свойства матриц разрешающих систем линейных алгебраических уравнений в методе конечных элементов. Свойства матрицы жесткости.
24. Матрица жесткости стержневого конечного элемента.
25. Матрица функций формы стержневого конечного элемента. Матрица деформаций. Матрица напряжений.
26. Основные соотношения метода конечных элементов на основе принципа минимума потенциальной энергии.
27. Методы численного интегрирования функций одного аргумента, применяемые в МКЭ. Квадратурные формулы Гаусса–Лежандра. Формула трапеций численного интегрирования. Формула Симпсона численного интегрирования
28. Основные типы конечных элементов.
29. Стержневой конечный элемент.
30. Балочный конечный элемент.
31. Треугольный линейный конечный элемент плосконапряженного состояния.
32. Треугольные координаты площади (L – координаты).
33. Функции формы изопараметрических конечных элементов Лагранжева и Серендипова семейств.
34. Изопараметрические конечные элементы Лагранжева семейства.
35. Изопараметрические конечные элементы Серендипова семейства.
36. Естественные координаты изопараметрических элементов. Их связь с физическими координатами. Дифференцирование по физическим координатам функций формы явно выраженных через естественные координаты.
37. Четырехугольный билинейный конечный элемент плосконапряженного состояния. Восьмиузловой шестигранный элемент для моделирования трехмерного напряженно-деформированного состояния.
38. Гипотезы Кирхгоффа-Лява в теории изгиба пластин. Деформации при изгибе тонкой пластины. Выражение для потенциальной энергии.
39. Прямоугольный конечный элемент тонкой пластины. Функции формы. Треугольник Паскаля.
40. Основные матрицы в МКЭ. Матрицы функций формы, деформаций, жесткости, масс, эквивалентных узловых нагрузок.
41. Формирование глобальной матрицы жесткости конструкции из матриц жесткости отдельных элементов (на примере стержневой задачи).
42. Учет граничных условий в методе конечных элементов.
43. Распределенные нагрузки в конечно-элементных моделях. Приведение распределенных нагрузок к узлам конечно-элементной модели.
44. Матричное уравнение динамического равновесия конечно-элементной системы.
45. Общее выражение для матрицы масс конечного элемента.
46. Матрица масс стержневого конечного элемента.

47. Матричная формулировка задачи определения частот и форм собственных колебаний конечно элементной системы в форме задачи на собственные значения.
48. Метод LDL^T для решения систем линейных алгебраических уравнений в МКЭ.
49. Метод Холецкого для решения систем линейных алгебраических уравнений в МКЭ. Метод статической конденсации в МКЭ.
50. Решение системы линейных алгебраических уравнений с верхней или нижней треугольной матрицей.
51. Свойства матриц систем линейных алгебраических уравнений при моделировании методом конечных элементов
52. Итерационные методы решения систем МКЭ. Метод сопряженных градиентов.
53. Погрешности при выполнении расчетов методом конечных элементов. Способы повышения точности расчетного анализа напряженно-деформированного состояния в задачах МКЭ.
54. Особенности расчетных схем и конечно-элементных моделей деталей, узлов и конструкций автомобилей и тракторов. Основные приемы и способы моделирования деталей, узлов и конструкций автомобилей и тракторов методом конечных элементов.
55. Пути повышения точности выполняемого методом конечных элементов расчетного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций автомобилей и тракторов.
56. Уравнение теплопроводности. Граничные условия для уравнения теплопроводности Учет граничных условий первого, второго и третьего рода. Стационарная теплопроводность. Уравнения Лапласа, Пуассона.
57. Формулировка метода конечных элементов для решения уравнения теплопроводности на основе метода Бубнова-Галеркина. Учет граничных условий в задаче теплопроводности.
58. Решение задачи нестационарной теплопроводности методом конечных элементов. Явная и неявная схемы треугольника, схема интегрирования Кранка-Николсона.

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 - **Метод конечных элементов**
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 1

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Основные понятия метода конечных элементов. Современное программное обеспечение. Последовательность решения задач методом конечных элементов.
2. Стержневой конечный элемент.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 1

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 «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Структура современных программных комплексов метода конечных элементов.
2. Функции формы шестигранного объемного 8-узлового конечного элемента с линейной аппроксимацией.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов».
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Назначение и функции препроцессора в программах метода конечных элементов.
2. Погрешности при выполнении расчетов методом конечных элементов. Способы повышения точности расчетного анализа напряженно-деформированного состояния в задачах МКЭ.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов «
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Назначение и функции решателя в программах метода конечных элементов.
2. Функции формы шестигранного объемного 20-узлового конечного элемента с квадратичной аппроксимацией.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. Назначение и функции постпроцессора в программах метода конечных элементов.
2. Четырехугольный билинейный конечный элемент плосконапряженного состояния.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов «
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

1. Напряжения и деформации (понятия, единицы измерения). Выражения деформаций через перемещения. Линейные соотношения между напряжениями и деформациями.
2. Метод LDL^T для решения систем линейных алгебраических уравнений в МКЭ.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

1. Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Компоненты напряжений и деформаций, отличные от нуля.
2. Метод Холецкого для решения систем линейных алгебраических уравнений в МКЭ.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов «
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

1. Соотношения упругости для плоского напряженного состояния.
2. Метод статической конденсации в МКЭ.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

1. Функции формы стержневого конечного элемента.
2. Решение системы линейных алгебраических уравнений с верхней или нижней треугольной матрицей.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

1. Функции формы плоского треугольного конечного элемента.
2. Свойства матриц систем линейных алгебраических уравнений при моделировании методом конечных элементов
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

1. Функции формы балочного конечного элемента. Полиномы Эрмита.
2. Итерационные методы решения систем МКЭ. Метод сопряженных градиентов.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

1. Функции формы конечных элементов. Свойства функций формы.
2. Учет граничных условий в методе конечных элементов.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов «
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

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 «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15

1. Функции формы плоского четырехугольного квадратичного 9-узлового конечного элемента.
2. Прямой метод получения соотношений МКЭ (на примере стержневого элемента).
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16

1. Функции формы плоского четырехугольного квадратичного 8-узлового конечного элемента.
2. Матричное уравнение динамического равновесия конечно-элементной системы. Общее выражение для матриц жесткости, масс конечного элемента.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17

1. Функции формы шестигранного объемного 8-узлового конечного элемента с линейной аппроксимацией.
2. Формулировка метода конечных элементов для решения уравнения теплопроводности на основе метода Бубнова-Галеркина. Учет граничных условий в задаче теплопроводности.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 18

1. Способы повышения точности расчетного анализа напряженно-деформированного состояния в задачах МКЭ.
2. Функции формы шестигранного объемного 20-узлового конечного элемента с квадратичной аппроксимацией.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025г., 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 19

1. Прямой метод получения соотношений МКЭ (на примере стержневого элемента).
2. Треугольные координаты площади (L – координаты).
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 20

1. Принцип минимума потенциальной энергии, как возможная основа МКЭ.
2. Прямоугольный конечный элемент тонкой пластины. Функции формы. Треугольник Паскаля.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 21

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 «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 22

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 «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 23

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 «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 24

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 «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 25

1. Матрица жесткости стержневого конечного элемента.
2. Матрица функций формы стержневого конечного элемента. Матрица деформаций. Матрица напряжений.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 26

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

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 27

1. Балочный конечный элемент.
2. Методы численного интегрирования функций одного аргумента, применяемые в МКЭ.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 28

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 «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 29

1. Основные типы конечных элементов.
2. Гипотезы Кирхгоффа-Лява в теории изгиба пластин. Деформации при изгибе тонкой пластины. Выражение для потенциальной энергии.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 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 - Метод конечных элементов
по направлению подготовки 23.04.02. Наземные транспортно-технологические комплексы Профиль: "Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»
Курс 1, семестр 2

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 30

1. Последовательность решения задач методом конечных элементов.
2. Решение задачи нестационарной теплопроводности методом конечных элементов. Явная и неявная схемы треугольника, схема интегрирования Кранка-Николсона.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2025 г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/