Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 20.06.2026 13:07:21
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
_____ /М.Р. Рыбакова/
«26» февраля 2026г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Метод конечных элементов

Направление подготовки/специальность
15.03.03 Прикладная механика

Профиль/специализация
Программирование и цифровые технологии в динамике и прочности

Квалификация
бакалавр

Формы обучения
очная

Москва, 2026 г.

Разработчик(и):

Доцент, к.т.н. Руковицын И.Г.

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

Д.ф.-м.н., доцент Скворцов А.А.

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Структура и содержание дисциплины 5
   - 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 5
   - 3.2. Тематический план изучения дисциплины 6
   - 3.3. Содержание дисциплины 8
   - 3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 10
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 11
   - 4.1. Нормативные документы и ГОСТы 11
   - 4.2. Основная литература 11
   - 4.3. Дополнительная литература 11
   - 4.4. Электронные образовательные ресурсы 11
5. Материально-техническое обеспечение 11
6. Методические рекомендации 11
   - 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 11
   - 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 12
7. Фонд оценочных средств 13
   - 7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 13
   - 7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения 13
   - 7.3. Оценочные средства 15

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Цель дисциплины

– 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 специалиста по направлению 15.03.03 Прикладная механика , профиль: "Программирование и цифровые технологии в динамике и прочности".

Задачи дисциплины:

-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

Обучение по дисциплине «Метод конечных элементов» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ИОПК-1.1 Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания ИОПК-1.2 Применяет методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части блока Б1 «Дисциплины (модули)».

Изучение дисциплины основано на знаниях и умениях, полученных при изучении следующих дисциплин:

- Физика
- Линейная алгебра
- Математический анализ
- Основы механики
- Сопротивление материалов

Знания и умения, полученные на дисциплине необходимы для изучения следующих дисциплин:

- Аналитическая динамика и теория колебаний
- Строительная механика машин
- Разработка инженерного программного обеспечения

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			5	6
1	**Аудиторные занятия**	**108**	54	54
	В том числе:			
	Лекции	18	18	-
	Семинарские/практические занятия	36	36	-
	Лабораторные занятия	54	-	54
2	**Самостоятельная работа**	**108**	54	54
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**Экзамен**	Экзамен	Экзамен
	Итого	**216**	108	108

3.2 Тематический план изучения дисциплины

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
	Пятый семестр														
1.1	***Тема 1. Введение***	**5**	1-2	2	6		8								
1.2	***Тема 2. Сведения из математики и механики деформируемого твердого тела.***	**5**	3-6	4	6		10								
1.3	***Тема 3. Метод конечных элементов как вычислительный метод решения задач механики***	**5**	7-10	4	8		12			+					
1.4	***Тема 4. Метод конечных элементов задаче плоского напряженного, плоского деформированного состояний***	**5**	11-14	4	8		12								
1.5	***Тема 5. Теория изопараметрических конечных элементов***	**5**	14-18	4	8		12								
	Форма аттестации													Э	
	Всего часов по дисциплине в пятом семестре			18	36		54								
	Шестой семестр														
2.1	***Тема 6. Модели метода конечных элементов для расчета пластин и оболочек***	**6**	1-6			12	12								

2.2	***Тема 7. Моделирование теплопроводности методом конечных элементов***	**6**	7-10			14	14								
2.3	***Тема 8. Эффективные численные алгоритмы, используемые в современном программном обеспечении метода конечных элементов.***	**6**	11-14			14	14								
2.4	***Тема 9. Пути повышения точности расчетного анализа конструкций автомобилей и тракторов, выполняемого методом конечных элементов.***	**6**	14-18			14	14								
	Форма аттестации													**Э**	
	Всего часов по дисциплине в шестом семестре					54	54								
	Всего часов по дисциплине во всех семестрах			18	36	54	108								

3.3 Содержание 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 LDLT для решения систем линейных алгебраических уравнений в МКЭ. Область применимости метода LDLT. 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..

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия
Изложены в п.3.2

3.4.2. Лабораторные работы
Не предусмотрены

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ Р 57837-2017 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок»
2. ГОСТ 25.503-97 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов»

4.2 Основная 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

2.Макаров, Е. Г. Метод конечных элементов в прочностных расчётах: учебное пособие / Е. Г. Макаров. — Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. — 136 с. — ISBN 978-5-906920-49-2.
URL: https://e.lanbook.com/book/121830

4.3 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, 2020. — 178 с. URL: https://urait.ru/bcode/447947

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Курс «Метод конечных элементов»
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=1412

Курс «Метод конечных элементов» (модуль 1)
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=10121

Курс «Метод конечных элементов» (модуль 2)
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=11368

5. Материально-техническое обеспечение

Аудитория для лекционных и практических занятий: столы учебные со скамьями, аудиторная доска. 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.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Методика преподавания дисциплины и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных 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 с последующим расчетом и защитой;

– защита и индивидуальное обсуждение выполняемых расчетно-графических работ;

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

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 исодержание 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.

Зачет по дисциплине проводится в форме письменного зачета с последующей индивидуальной беседой со студентом на основе вопросов, сформулированных в зачетных 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 лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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, 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 итоговому зачету.

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.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачёта 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 «зачтено» или «не зачтено».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Сопротивление материалов»:

- выполнили и защитили три расчетно-графические работы
- выполнили три контрольные работы
- выполнили три промежуточных и один итоговый тест
- выполнили и защитили лабораторные работы

Шкала оценивания	**Описание**

Зачтено	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.
Не зачтено	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.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

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

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Сопротивление материалов»:

- выполнили и защитили три расчетно-графические работы
- выполнили три контрольные работы
- выполнили три промежуточных и один итоговый тест
- выполнили и защитили лабораторные работы

Шкала и критерии оценивания результатов обучения

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.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует не полное 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
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует не полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, плохо оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками применяет их в простых ситуациях. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации
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.

7.2 Оценочные средства

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»

Дисциплина - **Метод конечных элементов**

Направление -15.03.03 Прикладная механика

профиль подготовки: «Программирование и цифровые технологии в динамике и прочности» (бакалавриат)

Вопросы для контроля знаний

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 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 - Метод конечных элементов
Направление -15.03.03 Прикладная механика
Профиль подготовки: «Программирование и цифровые технологии в динамике и прочности» (бакалавриат)
Курс 3, семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННОЕ ЗАДАНИЕ № 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 «__» _____2021 г., Протокол № _____

Зав. кафедрой _____/А.А. Скворцов/