

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

Рабочая программа дисциплины
Метод конечных элементов в строительной механике

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
01.03.03 Механика и математическое моделирование

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Метод конечных элементов в строительной механике» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.04, «Метод конечных элементов в строительной механике» относится к части ООП направления подготовки 01.03.03 Механика и математическое моделирование, формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-9. Умение использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование	ПК-9.1. Знает теоретические основы физического и компьютерного моделирования, основы эксперимента в механике.	Знает теоретические основы физического и компьютерного моделирования, постановки статических и динамических задач строительной механики и алгоритмы их решения методом конечных элементов.	<i>Собеседование</i>
	ПК-9.2. Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование для решения задач механики на основе полученных теоретических знаний.	Умеет использовать физические и компьютерные модели конструкций, а также современное экспериментальное оборудование для решения статических и динамических задач строительной механики	<i>Задачи. Расчетно-графическая работа</i>
	ПК-9.3. Имеет практический опыт использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при	Владеет навыками решения задач строительной механики методом конечных элементов с использованием физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования	<i>Задачи. Расчетно-графическая работа</i>

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
	решении стандартных задач механики.		
ПК-10. Владение навыками применения математически сложных алгоритмов в современных специализированных программных комплексах, реализации в них собственных методов, моделей и алгоритмов	ПК-10.1. Знает теоретические основы фундаментальных компьютерных наук.	Знает теоретические основы фундаментальных компьютерных наук, классические модели строительной механики.	Собеседование
	ПК-10.2. Умеет ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики.	Умеет выбирать и применять современные программные комплексы, проводить численные исследования, ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики	Расчетно-графическая
	ПК-10.3. Имеет практический опыт использования математически сложных алгоритмов в современных программных комплексах, включая реализацию в них собственных методов и моделей.	Владеет навыками применения метода конечных элементов при численном решении задач строительной механики, включая реализацию в них собственных методов и моделей	Расчетно-графическая

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 з.е.
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	16
самостоятельная работа	23
Контроль самостоятельной работы (КСР)	1
Промежуточная аттестация –	зачет

3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения						
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		ЗЛеТ ²	ЗСеТ ³	ЗЛаТ ⁴	Всего	
Введение. Основная идея МКЭ для задачи о растяжении стержня	10	4	2		6	4
МКЭ для расчета ферменных конструкций	10	4	2		6	4
МКЭ расчета изгиба плоских балок и рам	16	8	4		12	4
Расчет пространственных стержневых конструкций	10	4	2		6	4
Задачи устойчивости стержневых конструкций	9	4	2		6	3
Динамические задачи стержневых конструкций (собственные колебания, вынужденные колебания под действием гармонической во времени нагрузки)	16	8	4		12	4
Тензорные функции						
Текущий контроль	1				1	
Итого:	72	32	16		49	23
¹ Самостоятельная работа обучающегося.						
² Занятия лекционного типа.						
³ Занятия семинарского типа.						
⁴ Занятия лабораторного типа.						

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: решения задач строительной механики методом конечных элементов с использованием физических и компьютерных моделей, выполнения расчетно-графических работ.
- компетенций – ПК-9; ПК-10.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа и при проверке расчетно-графических работ.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме - зачет.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- выполнение расчетно-графических работ (2 работы)
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств включает контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме вопросов и заданий для *расчётно-графических работ* и промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к зачету.

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
плохо	не зачтено	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
неудовлетворительно		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
удовлетворительно	зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
очень хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
отлично		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
превосходно		Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
незачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
Дифференциальная постановка задачи о растяжении стержня	ПК-9; ПК-10
Вариационная постановка задачи о растяжении стержня	ПК-9; ПК-10
Метод Ритца. Требования к базисным функциям в методе Ритца	ПК-9; ПК-10
Примеры систем базисных функций в методе Ритца	ПК-9; ПК-10
Записать функции формы конечного элемента для задачи о растяжении стержня	ПК-9; ПК-10
Основной алгоритм применения метода конечных элементов	ПК-9; ПК-10
Правило построения конечно-элементной сетки для расчета ферменных конструкций	ПК-9; ПК-10
Записать векторы жестких смещений для конечного элемента фермы	ПК-9; ПК-10
Вариационное уравнение для задачи изгиба балки	ПК-9; ПК-10
Вид аппроксимации для задачи изгиба балки и его обоснование	ПК-9; ПК-10
Общая формула (интегральная) для матрицы жесткости	ПК-9; ПК-10

Общая формула (интегральная) для вектора эквивалентных узловых сил	ПК-9; ПК-10
Записать векторы жестких смещений для конечного элемента изгиба балки	ПК-9; ПК-10
Как формируется матрица жесткости для элемента рамы	ПК-9; ПК-10
Элементарные напряженные состояния пространственного стержня	ПК-9; ПК-10
Степени свободы пространственного стержня. Какие степени свободы какие состояния описывают?	ПК-9; ПК-10
Вариационное уравнение для задачи динамики стержня	ПК-9; ПК-10
Общее уравнение динамики стержня в матричном виде	ПК-9; ПК-10
Постановка задачи определения собственных частот и форм колебаний. Что является решением этой задачи?	ПК-9; ПК-10
Постановка задачи определения решения при гармонических воздействиях	ПК-9; ПК-10
Что такое гармонические воздействия	ПК-9; ПК-10
Постановка задачи устойчивости в матричном виде	ПК-9; ПК-10
Алгоритм решения задачи устойчивости	ПК-9; ПК-10
Преобразование неизвестных при переходе в глобальную систему координат для элемента пространственного стержня	ПК-9; ПК-10
Формула преобразование матрицы жесткости элемента при переходе в глобальную систему координат	ПК-9; ПК-10
Формула преобразование вектора эквивалентных узловых сил элемента при переходе в глобальную систему координат	ПК-9; ПК-10
Как вычислить внутренние усилия и моменты в балке при использовании МКЭ?	ПК-9; ПК-10

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-9; ПК-10

1. Вычислить матрицу жесткости прямолинейного двухузлового конечного элемента плоской фермы.
2. Вычислить матрицу жесткости прямолинейного двухузлового конечного элемента плоской балки.
3. Вычислить матрицу жесткости прямолинейного двухузлового конечного элемента плоской рамы.
4. Вычислить матрицу жесткости прямолинейного двухузлового конечного элемента пространственной рамы.
5. Решить простейшие задачи строительной механики с использованием техники МКЭ.
6. Решить приближенно задачу устойчивости стержня при различных граничных условиях с использованием техники МКЭ.
7. Решить приближенно задачу определения первой собственной частоты стержня при различных граничных условиях с использованием техники МКЭ.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Применение системы Ansys к решению задач механики сплошных сред. Практическое руководство/Под ред. Проф. А.К.Любимова. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006 г. (500 экз.).
2. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ по курсу «Метод конечных элементов в задачах строительной механики». ЗАДАНИЯ И ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ. Составитель: Н.В. Леонтьев - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. - 18 с. [Электронный ресурс] (http://www.unn.ru/books/met_files/FEMSM_CGW.doc)

б) дополнительная литература:

1. Образцов И. Ф., Савельев Л. М., Хазанов Х. С - Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов: учеб. пособие для студентов авиац. специальностей вузов. - М.: Высшая школа, 1985. - 391 с. - **3экз**
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. (<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/numerics.htm>).
3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979 (<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/numerics.htm>).

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

1. Программные пакеты Maple и Mathematica (лицензионный)
2. Программный пакет Ansys (лицензионный)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.03 Механика и математическое моделирование

Автор(ы)

к.т.н., доцент Леонтьев Н.В.

Заведующий кафедрой
теоретической,
компьютерной и
экспериментальной
механики

д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.