

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  
президиумом Ученого совета ННГУ  
от 14.12.2021 г. протокол № 4

**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)*

Нижегород  
2022 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.08, «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-2. Способен анализировать поставленную задачу, использовать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах, реализовывать в них новые алгоритмы	ПК-2.1. <b>Знает</b> теоретические основы и методологию построения решений фундаментальных задач механики, основы информационных технологий.	<b>Знает</b> вариационные постановки статических и динамических задач строительной механики и алгоритмы их решения методом конечных элементов.	<i>Собеседование</i>
	ПК-2.2. <b>Умеет</b> осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач профессиональной деятельности..	<b>Умеет</b> осуществлять анализ и выбор формулировок и методов решения статических и динамических задач строительной.	<i>Расчетно-графическая работа</i>
	ПК-2.3. <b>Владеет навыками</b> решения задач механики в соответствии с выбранным методом и построенным алгоритмом с использованием современных программных комплексов.	<b>Владеет навыками</b> решения задач строительной механики методом конечных элементов с использованием современных программных комплексов/	<i>Расчетно-графическая работа</i>
ПК-3. Умеет разрабатывать, исследовать, применять	ПК-3.1. <b>Знает</b> классические модели механики, методы решения задач,	<b>Знает</b> классические модели строительной механики, методы решения задач,	<i>Собеседование</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**	
математические модели для расчётов, проводить расчётно-экспериментальные работы и исследования, обработку результатов, оформление отчётной документации	современные программные комплексы для проведения расчётных исследований, методы проведения, обработки и анализа результатов экспериментальных исследований.	современные программные комплексы для проведения расчётных исследований.	
	<b>ПК-3.2. Умеет</b> проводить расчётно-экспериментальные исследования, выбирать и применять современные программные комплексы, получать, обрабатывать и анализировать результаты исследований.	<b>Умеет</b> выбирать и применять современные программные комплексы, проводить численные исследования, обрабатывать и анализировать результаты.	<i>Расчётно-графическая</i>
	<b>ПК-3.3. Владеет навыками</b> применения математического моделирования и расчётно-экспериментальных исследований.	<b>Владеет навыками</b> применения метода конечных элементов при численном решении задач строительной механики	<i>Расчётно-графическая</i>

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

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

### 3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения						
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР <sup>1</sup> , часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них			Всего	
ЗЛеТ <sup>2</sup>	ЗСеТ <sup>3</sup>	ЗЛаТ <sup>4</sup>	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) Тензорные функции	16	8	4		12	4
Текущий контроль	1				1	
Итого:	72	32	16		49	23
<sup>1</sup> Самостоятельная работа обучающегося. <sup>2</sup> Занятия лекционного типа. <sup>3</sup> Занятия семинарского типа. <sup>4</sup> Занятия лабораторного типа.						

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 зачт	Отсутствие знаний теоретического материала.	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)			
		Знания	Умения	Навыки	
неудовлетворительно		Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	
		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.	Продемонстрированы 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	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	
очень хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	
отлично		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	
превосходно			Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продемонстрирован 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

Оценка		Уровень подготовки
		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-2
Вариационная постановка задачи о растяжении стержня	ПК-2
Метод Ритца. Требования к базисным функциям в методе Ритца	ПК-2
Примеры систем базисных функций в методе Ритца	ПК-2
Записать функции формы конечного элемента для задачи о растяжении стержня	ПК-2
Основной алгоритм применения метода конечных элементов	ПК-2
Правило построения конечно-элементной сетки для расчета ферменных конструкций	ПК-2
Записать векторы жестких смещений для конечного элемента фермы	ПК-2
Вариационное уравнение для задачи изгиба балки	ПК-2
Вид аппроксимации для задачи изгиба балки и его обоснование	ПК-2
Общая формула (интегральная) для матрицы жесткости	ПК-2
Общая формула (интегральная) для вектора эквивалентных узловых сил	ПК-2
Записать векторы жестких смещений для конечного элемента изгиба балки	ПК-2
Как формируется матрица жесткости для элемента рамы	ПК-2
Элементарные напряженные состояния пространственного стержня	ПК-2
Степени свободы пространственного стержня. Какие степени свободы какие состояния описывают?	ПК-2
Вариационное уравнение для задачи динамики стержня	ПК-2

Общее уравнение динамики стержня в матричном виде	ПК-2
Постановка задачи определения собственных частот и форм колебаний. Что является решением этой задачи?	ПК-2
Постановка задачи определения решения при гармонических воздействиях	ПК-2
Что такое гармонические воздействия	ПК-2
Постановка задачи устойчивости в матричном виде	ПК-2
Алгоритм решения задачи устойчивости	ПК-2
Преобразование неизвестных при переходе в глобальную систему координат для элемента пространственного стержня	ПК-2
Формула преобразование матрицы жесткости элемента при переходе в глобальную систему координат	ПК-2
Формула преобразование вектора эквивалентных узловых сил элемента при переходе в глобальную систему координат	ПК-2
Как вычислить внутренние усилия и моменты в балке при использовании МКЭ?	ПК-2

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

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:	К-во <sup>1</sup>
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.	.	Э, 3 экз.
3.		Э
4.		Э
5.	РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ по курсу «Метод конечных элементов в задачах строительной механики». ЗАДАНИЯ И ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ. Составитель: Н.В. Леонтьев - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет,	Э

<sup>1</sup>Указывается количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указывается буква «Э».

№	а) основная литература:	К-во <sup>1</sup>
	2014. - 18 с. [Электронный ресурс] ( <a href="http://www.unn.ru/books/met_files/FEMSM_CGW.doc">http://www.unn.ru/books/met_files/FEMSM_CGW.doc</a> )	

№	б) дополнительная литература:	К-во <sup>1</sup>
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. - <b>Зэкз</b>	Э
2.	Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. ( <a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/numerics.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/numerics.htm</a> ).	Э
3.	Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979 ( <a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/numerics.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/numerics.htm</a> ).	Э

№	в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)	«Л» или «С» <sup>2</sup>
1.	Программные пакеты Maple и Mathematica	«Л»
2.	Программный пакет Ansys	«Л»

## 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.

Рецензент(ы) \_\_\_\_\_

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 01.12.2021 года, протокол № 2.

<sup>2</sup>Указывается буква «Л», если программное обеспечение – лицензионное, или «С» – в свободном доступе.