

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

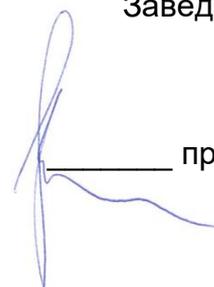
УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

МиКМ

проф. А.В. Ковалев

16.06.2021г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.01 Метод конечных элементов в нелинейных задачах

- 1. Шифр и наименование направления подготовки:** 01.04.03 Механика и математическое моделирование
- 2. Профиль подготовки:** Прикладная механика и компьютерное моделирование
- 3. Квалификация выпускника:** магистр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Механики и компьютерного моделирования
- 6. Составители программы:**
Малыгина Юлия Владимировна, преподаватель, факультет ПММ, кафедра МиКМ,
Ковалев Алексей Викторович, доктор физ-мат. наук, профессор, факультет ПММ, кафедра МиКМ
- 7. Рекомендована:** НМС факультета ПММ протокол №10 от 15.06.2021.
- 8. Учебный год:** 2021 - 2022 **Семестр:** 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель изучения дисциплины: изучение применения МКЭ при решении исследовательских задач с использованием современных инженерных комплексов.

Задачи учебной дисциплины: сформировать навыки постановки математической задачи, выбора эффективных методов решения и их реализации, используя современные IT-технологии.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Учебная дисциплина относится к формируемой участниками образовательных отношений части Блока 1.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПКВ-5	Способен руководить работами по составлению математических моделей для проведения расчетных работ с использованием современных инженерно-вычислительных комплексов	ПКВ-5.1	Имеет представление об основных понятиях, разделах и задачах механики, методах математического моделирования, используемых в механике.	Знать: основные понятия, разделы механики, методы математического моделирования Уметь: применять методы решения проблемных ситуаций и проблем Владеть: методами математического моделирования, используемыми в механике
		ПКВ-5.2	Может разработать план проведения исследований в соответствующей предметной области; способен выбрать эффективные методы решения согласно поставленным прикладным задачам.	Знать: научные основы знаний в сфере механики и математического моделирования Уметь: получать результаты научно-исследовательской деятельности на основании знаний в сфере механики и математического моделирования Владеть: навыками применения знаний в сфере механики и математического моделирования
		ПКВ-5.3	Имеет практический опыт руководства при проведении исследований в области механики деформируемых тел и сред.	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2/72.

Форма промежуточной аттестации: зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		1	
Аудиторные занятия	32	32	
в том числе:	лекции	16	16
	практические	0	0
	лабораторные	16	16
Самостоятельная работа	40	40	
Форма промежуточной аттестации - экзамен	зачет	зачет	

Итого:	72	72
--------	----	----

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Расчет упругих пластин методом конечных элементов	Вывод соотношений для аппроксимации перемещений, деформаций, напряжений. Внутренняя энергия пластины, работа.	«Метод конечных элементов в нелинейных задачах»
1.2	Расчет цилиндрических оболочек методом конечных элементов	Вывод соотношений для аппроксимации перемещений, деформаций, напряжений. Внутренняя энергия пластины, работа.	«Метод конечных элементов в нелинейных задачах»
1.3	Криволинейные изопараметрические элементы	Параметрическое отображение. Геометрическое соответствие элементов. Аппроксимация неизвестной функции в криволинейных координатах. Условия непрерывности. Удовлетворение критерию постоянства производной. Вычисление матриц элемента.	«Метод конечных элементов в нелинейных задачах»
1.4	Задачи о стационарных полях.	Введение. Конечноэлементная реализация задачи.	«Метод конечных элементов в нелинейных задачах»
1.5	Нелинейные задачи в постановке метода конечных элементов	Метод начальных напряжений. Метод начальных деформаций.	«Метод конечных элементов в нелинейных задачах»
1.6	Постановка нестационарных и динамических задач	Постановка задач. Динамическое поведение упругих конструкций. Другой способ учета временного эффекта. Задачи, в которых вводится вторая производная по времени.	«Метод конечных элементов в нелинейных задачах»
1.7	Задачи пластичности	Вывод общих соотношений теории пластичности методом конечных элементов.	«Метод конечных элементов в нелинейных задачах»
2. Лабораторные работы			
2.1	Решение вариационного уравнения, содержащего вторую производную от искомой функции	Решение задачи с помощью полиномов Эрмита.	«Метод конечных элементов в нелинейных задачах»

13.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Расчет упругих пластин методом конечных элементов	2		5	7
2.	Расчет цилиндрических оболочек методом конечных элементов	2		5	7
3.	Криволинейные изопараметрические элементы	2		6	8

4.	Задачи о стационарных полях.	2		5	7
5.	Нелинейные задачи в постановке метода конечных элементов	3		6	9
6	Постановка нестационарных и динамических задач	3		6	9
7	Задачи пластичности	2		5	7
8	Решение вариационного уравнения, содержащего вторую производную от искомой функции		16	2	18
	Итого	16	16	40	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины «Метод конечных элементов в нелинейных задачах» включает лекционные занятия, лабораторные работы и самостоятельную работу обучающихся.

На первом занятии студент получает информацию для доступа к комплексу учебно-методических материалов.

Лекционные занятия посвящены рассмотрению ключевых дискуссионных вопросов, принципов, базовых понятий, стандартов и методологий. На лабораторных занятиях обучающиеся используют знания, полученные на лекционных занятиях, и применяют их для решения поставленных задач. Занятия предназначены для формирования умений и навыков, закрепленных компетенций по ОПОП.

Самостоятельная работа студентов включает в себя проработку учебного материала лекций, разбор лабораторных заданий.

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется подробно конспектировать лекционный материал, просматривать основную и дополнительную литературу по соответствующей теме, чтобы систематизировать изучаемый материал.

Промежуточная аттестация. В течение семестра обучающимся предлагается выполнить лабораторные задания. На промежуточной аттестации обучающиеся отвечают на вопросы контрольно-измерительного материала. Оценка выставляется по результатам ответа на КИМ и сданным лабораторным работам.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения следует выполнять все указания преподавателя по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

Для организации самостоятельной работы или проведения занятий с использованием дистанционных образовательных технологий и электронного обучения разработан ЗУМК «Метод конечных элементов в нелинейных задачах», размещенный на платформе электронного университета ВГУ <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11086>

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Мельников, Р. В. Использование метода конечных элементов в геотехнике : учебное пособие : [16+] / Р. В. Мельников. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 188 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=618128 (дата обращения: 09.11.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9729-0697-0. – Текст : электронный.
2	Радин, В. П. Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления материалов : учебное пособие : [16+] / В. П. Радин, Ю. Н. Самогин, В. П. Чирков. – Москва : Физматлит, 2013. – 314 с. : схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275558 (дата обращения: 09.11.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9221-1485-1. – Текст : электронный.

3	Присекин, В. Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел : учебник / В. Л. Присекин, Г. И. Расторгуев ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2009. – 240 с. : табл., ил. – (Учебники НГТУ). – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436040 (дата обращения: 09.11.2021). – Библиогр.: с. 232. – ISBN 978-5-7782-1287-9. – Текст : электронный.
---	--

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Деклу, Ж. Метод конечных элементов / Ж. Деклу ; под ред. Н. Н. Яненко ; пер. с фр. Б. И. Квасова. – Москва : Мир, 1976. – 95 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=456946 (дата обращения: 10.11.2021). – Текст : электронный.
5	Стренг, Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Д. Фикс ; под ред. Г. И. Марчку ; пер. с англ. В. И. Агошкова, В. А. Василенко, В. В. Шайдурова. – Москва : Мир, 1977. – 350 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457078 (дата обращения: 10.11.2021). – Текст : электронный.
6	Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд ; под ред. Б. Е. Победри ; пер. с англ. А. А. Шестакова. – Москва : Мир, 1979. – 392 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457056 (дата обращения: 10.11.2021). – Текст : электронный.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
7	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
8	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" https://biblioclub.lib.vsu.ru/
9	Электронно-библиотечная система "Лань" https://lanbook.lib.vsu.ru/
10	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" https://studmedlib.lib.vsu.ru/
11	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" http://rucont.ru
12	Малыгина Ю.В. Метод конечных элементов в нелинейных задачах : ЗУМК / Ю.В. Малыгина – URL: https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11086

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

Самостоятельная работа обучающегося должна включать подготовку к лабораторным занятиям, проработку учебного материала лекций и подготовку к промежуточной аттестации.

Для обеспечения самостоятельной работы студентов в электронном курсе дисциплины на образовательном портале «Электронный университет ВГУ» сформирован учебно-методический комплекс, который включает в себя: программу курса, учебные пособия и справочные материалы, методические указания по выполнению заданий. Студенты получают доступ к данным материалам на первом занятии по дисциплине.

Указанные в учебно-методическом комплексе учебные пособия и справочные материалы, приведены в таблице ниже:

№ п/п	Источник
1.	Метод конечных элементов [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторному практикуму / Воронеж. гос. ун-т ; сост. Т.Д. Семькина. — Электрон. текстовые дан. — Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2008 . https://lib.vsu.ru/zgate?present+3150+default+1+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus
2.	Малыгина Ю.В. Метод конечных элементов в нелинейных задачах : ЗУМК / Ю.В. Малыгина – URL: https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11086

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение:

При реализации дисциплины могут проводиться различные типы лекций (вводная, обзорная и т.д.), применяться дистанционные образовательные технологии в части освоения лекционного материала, самостоятельной работы по дисциплине или отдельным ее разделам.

При реализации дисциплины используются следующие образовательные технологии: логическое построение дисциплины, обозначение теоретического и практического компонентов в учебном материале. Применяются разные типы лекций (вводная, обзорная, информационная, проблемная).

Информационные технологии для реализации учебной дисциплины:

- технологии синхронного и асинхронного взаимодействия студентов и преподавателя посредством служб (сервисов) по пересылке и получению электронных сообщений, в том числе, по сети Интернет, а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.;
- сервис электронной почты для оперативной связи преподавателя и студентов.

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, для организации самостоятельной работы обучающихся используется онлайн-курс, размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория должна быть оборудована учебной мебелью, компьютером, мультимедийным оборудованием (проектор, экран, средства звуковоспроизведения), допускается переносное оборудование. Практические занятия должны проводиться в специализированной аудитории, оснащенной учебной мебелью и персональными компьютерами с доступом в сеть Интернет (компьютерные классы, студии), мультимедийным оборудованием (мультимедийный проектор, экран, средства звуковоспроизведения), Число рабочих мест в аудитории должно быть таким, чтобы обеспечивалась индивидуальная работа студента на отдельном персональном компьютере.

Для самостоятельной работы необходимы компьютерные классы, помещения, оснащенные компьютерами с доступом к сети Интернет.

Программное обеспечение: ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Chrome, Яндекс.Браузер, Mozilla Firefox), ПО Adobe Reader, пакет стандартных офисных приложений для работы с документами, таблицами (MS Office, МойОфис, LibreOffice).

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Расчет упругих пластин методом конечных элементов	ПКВ-5	ПКВ-5.1	Собеседование
2	Расчет цилиндрических оболочек методом конечных элементов	ПКВ-5	ПКВ-5.1	Собеседование
3	Криволинейные изопараметрические элементы	ПКВ-5	ПКВ-5.1	Собеседование
4	Задачи о стационарных полях.	ПКВ-5	ПКВ-5.1	Собеседование
5	Нелинейные задачи в постановке метода конечных элементов	ПКВ-5	ПКВ-5.1	Собеседование
6	Постановка нестационарных и динамических задач	ПКВ-5	ПКВ-5.1	Собеседование
7	Задачи пластичности	ПКВ-5	ПКВ-5.1	Собеседование

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
8	Решение вариационного уравнения, содержащего вторую производную от искомой функции	ПКВ-5	ПКВ-5.1 ПКВ-5.2 ПКВ-5.3	Лабораторная работа
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Перечень вопросов

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Лабораторная работа

Решить вариационное уравнение $\delta J = 0$ методом конечных элементов. Функционал J в общем виде имеет вид

$$J = \int_a^b F \left(\varphi, \varphi^2, \frac{d\varphi}{dx}, \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^2, \left(\frac{d^2\varphi}{dx^2} \right)^2 \right) dx,$$

где $[a, b]$ – отрезок, задающий область решения; $\varphi(x)$ – искомая функция.

Отрезок $[a, b]$ необходимо разбить на N конечных отрезков. В каждом элементе ввести локальные координаты « u ». Начало координат поместить в центре элемента ($-1 \leq u \leq 1$). Переход от координаты « x » к координате « u » происходит по формуле

$$u = \frac{2x - x_i - x_{i+1}}{x_{i+1} - x_i}.$$

Функции формы в этом случае имеют вид

$$N_{01}(u) = \frac{1}{4}(1-u)^2(2+u), N_{11}(u) = \frac{1}{4}(1-u^2)(1-u),$$

$$N_{02}(u) = \frac{1}{4}(1+u)^2(2-u), N_{12}(u) = \frac{1}{4}(u^2-1)(1+u).$$

Для решения задачи необходимо записать аппроксимацию искомой функции и выражений, входящих в функционал. Получить систему алгебраических уравнений относительно узловых параметров и построить график полученного решения.

Задания.

1. $J = \int_0^{20} \left(2 \left(\frac{d^2\varphi}{dx^2} \right)^2 + \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^2 + 10\varphi^2 - 5 \frac{d\varphi}{dx} - \varphi \right) dx, N=20,$

$$\varphi(0) = 0, \varphi(20) = -20.$$

2. $J = \int_{20}^{40} \left(8 \left(\frac{d^2\varphi}{dx^2} \right)^2 - 4 \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^2 + 2\varphi \frac{d\varphi}{dx} - \frac{1}{2} \frac{d\varphi}{dx} - \varphi \right) dx, N=20,$

$$\varphi(20) = 0, \varphi(40) = 10.$$

$$3. \quad J = \int_0^{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{d^2 \varphi}{dx^2} \right)^2 - \frac{1}{4} \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^2 - \frac{1}{8} \varphi \frac{d\varphi}{dx} - \frac{1}{16} \frac{d\varphi}{dx} - \varphi \right) dx, N=20, \varphi(0) = 0, \varphi(10) = 0.$$

$$4. \quad J = \int_{10}^{20} \left(\left(\frac{d^2 \varphi}{dx^2} \right)^2 - 2 \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^2 + 3\varphi^2 - 4 \frac{d\varphi}{dx} - 5\varphi \right) dx, N=20,$$

$\varphi(10) = 0, \varphi(20) = 10.$

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Правильное решение задачи.
Хорошо	Правильное решение задачи, но есть некоторые ошибки.
Удовлетворительно	Неправильное решение задачи, но верно выбран ход решения.
Неудовлетворительно	Неправильное решение задачи, причем неверно выбран ход решения.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по вопросам к зачету

1. Расчет упругих пластин методом конечных элементов. Постановка задачи.
2. Расчет упругих пластин методом конечных элементов. Аппроксимация перемещений, деформаций и напряжений.
3. Вычисление внутренней энергии системы и работы внешних сил, учет граничных условий при расчете пластин МКЭ.
4. Расчет цилиндрических оболочек методом конечных элементов. Постановка задачи.
5. Расчет цилиндрических оболочек методом конечных элементов. Аппроксимация перемещений, деформаций и напряжений.
6. Вычисление внутренней энергии системы и работы внешних сил, учет граничных условий при расчете цилиндрических оболочек МКЭ.
7. Расчет цилиндрических оболочек методом конечных элементов. Аппроксимация перемещений, деформаций и напряжений, вычисление внутренней энергии системы и работы внешних сил, учет граничных условий.
8. Параметрическое отображение. Использование функций формы для установления связи между координатами.
9. Геометрическое соответствие элементов.
10. Аппроксимация неизвестной функции в криволинейных координатах. Условия непрерывности.
11. Удовлетворение критерию постоянства производной.
12. Вычисление матриц элемента.
13. Задачи о стационарных полях. Введение.
14. Задачи о стационарных полях. Конечноеэлементная реализация задачи.
15. Нелинейные задачи в постановке МКЭ. Методы переменной жесткости.
16. Нелинейные задачи в постановке МКЭ. Методы начальных напряжений.
17. Нелинейные задачи в постановке МКЭ. Методы начальных деформаций.
18. Постановка нестационарных и динамически задач МКЭ. Постановка задачи.
19. Постановка нестационарных и динамически задач МКЭ. Динамическое поведение упругих конструкций.
20. Постановка нестационарных и динамически задач МКЭ. Другой способ учета временного эффекта.
21. Постановка нестационарных и динамически задач МКЭ. Задачи, в которых вводится вторая производная по времени.
22. Вывод общих соотношений теории пластичности МКЭ.

Зачет проводится по КИМ, составленным на основе вопросов для подготовки к экзамену.

Оценка	Критерии оценок
Зачтено	Знание основных соотношений, определений метода конечных элементов. Владение основными методами решения задач. Умение получить основные соотношения для решения задачи методом конечных элементов. Лабораторные работы оценены на «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно».
Удовлетворительно	Знание основных соотношений, определений метода конечных элементов. Слабое владение основными методами решения задач. Не получены основные соотношения для решения задачи методом конечных элементов. Не даны ответы на дополнительные вопросы. Лабораторные работы оценены на «неудовлетворительно».