

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

МиКМ

проф. А.В. Ковалев

16.06.2021.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.05 Основные модели неупругой сплошной среды

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:

01.03.03 Механика и математическое моделирование

2. Профиль подготовки/специализации: Компьютерный инжиниринг в механике сплошных сред

3. Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

4. Форма образования: Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: Механики и компьютерного моделирования

6. Составители программы:

Спорыхин Анатолий Николаевич, доктор физ-мат. наук, профессор, факультет ПММ, кафедра МиКМ, spor@amm.vsu.ru

Щеглова Юлия Дмитриевна, канд. физ-мат. наук, доцент, факультет ПММ, кафедра МиКМ, scheglova@gmail.com

7. Рекомендована: НМС факультета ПММ протокол №10 от 16.06.2021.

8. Учебный год: 2024 - 2025

Семестр(-ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- изучение фундаментальных понятий устойчивости и управления движением и ее приложений к современным задачам механик сплошных сред.

Задачи учебной дисциплины:

- подготовить студента к выполнению исследовательской деятельности, в областях, использующих математические методы и компьютерные технологии; созданию и использованию математических моделей процессов и объектов; разработке эффективных математических методов решения задач механики; программно-управленческому обеспечению научно-исследовательской, проектно-конструкторской деятельности.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Учебная дисциплина относится к формируемой участниками образовательных отношений части Блока 1. Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: математический анализ, алгебра, аналитическая геометрия, дифференциальные уравнения, дифференциальная геометрия и топология, теоретическая и прикладная механика. Освоение основных концепций и проблем механики сплошных сред позволит в дальнейшем достаточно свободно ориентироваться при изучении специальных разделов механики сплошных сред, включающих в себя теорию упругости, теорию пластичности, гидромеханику.

11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-4	Способен строить математические модели для проведения расчетных работ с использованием современных инженерно-вычислительных комплексов	ПК-4.2	Выбирает эффективные математические модели и методы решения согласно поставленным прикладным задачам.	Знать: способы построения математических моделей Уметь: выбирать эффективные методы решения поставленных задач Владеть: навыками работы в современных инженерно-вычислительных комплексах
		ПК-4.3	Проводит построение математических моделей при проведении расчетных исследований.	Знать: основные этапы расчетных исследований Уметь: строить математические модели Владеть: навыками проведения расчетных исследований

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2/72.

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		7
Аудиторные занятия	32	32
в том числе:		
лекции	16	16
практические	16	16
лабораторные		
Самостоятельная работа	40	40
Форма промежуточной аттестации		Зачет
Итого:	72	72

13.1. Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1	Введение.	Предмет и методы МСС. Основные гипотезы. Законы движения континуума. Способы описания движения по Лагранжу и Эйлера. Понятие скорости и ускорения точек сплошной среды.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
2	Кинематика деформируемой среды.	Векторы базиса. Индивидуальные и местные производные по времени. Вектор-градиент. Установившиеся и неуставившиеся движения.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
3		Полиадные произведения векторов базиса. Определение тензора. Операции над тензорами.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
4		Ковариантные, контравариантные и смешанные компоненты тензора. Метрический тензор. Формулы преобразования тензоров.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
5		Тензоры деформаций. Геометрический смысл компонент тензоров деформаций. Связи главных компонент тензоров деформаций. Коэффициент	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282

		кубического расширения.	
6		Вектор перемещения. Ковариантное дифференцирование компонент тензоров и векторов и его свойства.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
7		Символы Кристоффеля и их свойства. Тензоры деформаций Грина, Альманси, Коши. Формулы преобразования символов Кристоффеля. Условие евклидовости пространства.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
8		Тензор Римана-Кристоффеля. Свойства симметрии компонент тензора Римана-Кристоффеля.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
9		Уравнения совместности деформаций. Случай бесконечно малых деформаций - уравнения Сен-Венана.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
10		Свойства аффинных преобразований. Геометрическая картина преобразования малой частицы сплошной среды. Тензор скоростей деформаций.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
11		Бесконечно малое аффинное преобразование малой частицы сплошной среды. Кинематические истолкования компонент тензора скоростей деформаций.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
12		Вектор вихря и его кинематическое истолкование. Теорема Коши-Гельмгольца. Понятие дивергенции вектора скорости. Теорема Стокса. Потенциальные и вихревые движения.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
13	Динамические уравнения механики сплошных сред.	Теорема Гаусса-Остроградского. Уравнение неразрывности в переменных Лагранжа и Эйлера.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
14		Уравнение неразрывности для многокомпонентных сред. Понятие сил. Уравнение количества движения для конечного объема сплошной среды. Основное свойство внутренних напряжений.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
15		Уравнения движения сплошной среды в декартовой системе координат. Уравнения движения	Основные модели неупругой сплошной среды

		сплошной среды в произвольной системе координат.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
16		Момент количества движения конечного объема сплошной среды. Уравнение моментов количества движения в дифференциальной форме. Симметрия тензора напряжений в классическом случае.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
17	Замкнутые системы уравнений для идеальных тел.	Уравнения движения идеальной жидкости. Замкнутые системы уравнений движения идеальной сжимаемой и несжимаемой жидкости.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
18		Упругие тела. Вязкие жидкости. Законы Гука и Навье-Стокса в произвольной криволинейной системе координат.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
19		Уравнения Навье-Стокса. Полная система уравнений движения несжимаемой вязкой жидкости. Уравнения Ламэ.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
20		Идеальные классические тела. Метод составления реологических уравнений сложных сред. Тело Кельвина, Максвелла и т.д.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
21		Общие основы постановки конкретных задач. Типичные упрощения в постановках задач.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
22		Движение несжимаемой вязкой жидкости в цилиндрических трубах, течение Пуазеля. Плоское течение Куэтта. Турбулентные движения. Опыты Рейнольдса.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
23		Задачи об одноосном растяжении упругого бруса.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
24		Задача Ламэ.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
25		Постановка задач теории упругости, уравнение Бельтрами-Миччела.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282

			se/view.php?id=12282
26		Плоское деформированное и плоское напряженное состояние. Полоса при сжатии (растяжении).	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
27	Основы теории пластичности и реологии.	Теорема живых сил (закон сохранения энергии) для конечного объема и точки. Уравнение баланса механической энергии. Первое и второе начало термодинамики.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
28		Тензоры пластических, упругих и полных деформаций. Принцип минимума работы.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
29		Условия пластичности Треска и Мизеса. Поверхность текучести.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
30		Определение напряженно-деформированного состояния в полосе при сжатии.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
31		Статически определимые задачи (случай плоского напряженного состояния).	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
32		Полные системы уравнений равновесия идеально-пластического тела в случае условия пластичности Мизеса.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
33		Построение определяющих соотношений для упруговязкопластических сред. Простейшие сложные среды, их модели. Полные системы уравнений.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
34		Соотношения теории малых упругопластических деформаций.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282
35		Полные системы уравнений.	Основные модели неупругой сплошной среды https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12282

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Лабораторные	Практическое	Самостоятельная работа	
1.	Введение.	3		2	8	13
2.	Кинематика деформируемой среды.	4		4	8	16
3.	Динамические уравнения механики сплошных сред.	3		4	10	17
4.	Замкнутые системы уравнений для идеальных тел.	4		4	8	16
5.	Основы теории пластичности и реологии.	2		2	6	10
	Итого	16		16	40	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

На лекционных занятиях студенты знакомятся с основными понятиями курса, их логической взаимосвязью. Изучение тем начинается с лекций, которые составляют основу теоретической подготовки студентов. Лекции читаются с использованием технических средств обучения. На самостоятельной работе студенты развивают и углубляют полученные знания. Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме, выполнение индивидуальных заданий. Практические занятия позволяют развивать у студентов творческое теоретическое мышление, умение самостоятельно изучать литературу, анализировать практику; учат четко формулировать мысль, вести дискуссию, то есть имеют исключительно важное значение в развитии самостоятельного мышления. При подготовке к практическим занятиям необходимо повторить основные положения и понятия по теме занятия. При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Краснобаев К.В. Лекции по основам механики сплошной среды. / К.В. Краснобаев. — М. :Физматлит, 2005. — 108с. URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574777
2	Корабельников, Д. В. Практикум по основам механики сплошных сред :

	учебное пособие / Д. В. Корабельников, А. В. Ханефт. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2011. – 103 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232408 (дата обращения: 12.11.2021). – ISBN 978-5-8353-1135-4.
--	--

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Черняк, В. Г. Механика сплошных сред : учебное пособие / В. Г. Черняк, П. Е. Суетин. – Москва : Физматлит, 2006. – 352 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69276
4	Орлова, Н. Б. Сборник тестовых заданий по механике : учебное пособие / Н. Б. Орлова, И. Б. Формусатик ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 63 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576447
5	Векторный и тензорный анализ: курс лекций : учебное пособие / авт.-сост. В. И. Волкова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Северо-Кавказский федеральный университет. – Ставрополь : Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2018. – 138 с. : ил. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=562699
6	Решение неконсервативных задач теории устойчивости : учебное пособие / В. П. Радин, Ю. Н. Самогин, В. П. Чирков, А. В. Щугорев. – Москва : Физматлит, 2017. – 237 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485332

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
7	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
8	Научно-образовательный центр при МИАН http://www.mi.ras.ru/
9	Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ http://www.lib.mexmat.ru/
10	Основные модели неупругой сплошной среды / А.Н. Спорыхин — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.moodle.ru .

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

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.	Краснобаев К.В. Лекции по основам механики сплошной среды. / К.В.

	Краснобаев. — М. :Физматлит, 2005. — 108с. URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574777
2.	Основные модели неупругой сплошной среды / А.Н. Спорыхин — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.moodle.ru

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для организации занятий рекомендован онлайн-курс «Основные модели неупругой сплошной среды», размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория: специализированная мебель, Компьютеры, Интерактивная доска, Мультимедиа-проектор

Программное обеспечение: Adobe Reader (свободное и/или бесплатное ПО) Microsoft Visual Studio Community Edition (свободное и/или бесплатное ПО), Notepad ++ (свободное и/или бесплатное ПО) Справочно-правовая система Гарант (на сервере) (договор о сотрудничестве №19/08 от 10.12.2006), Mozilla Firefox (свободное и/или бесплатное ПО)

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.	Введение.	ПК-4	ПК-4.2	<i>Собеседование</i>
2.	Кинематика деформируемой среды.	ПК-4	ПК-4.3	<i>Домашние задания</i>
3.	Динамические уравнения механики сплошных сред.	ПК-4	ПК-4.3	<i>Домашние задания</i>
4.	Замкнутые системы уравнений для идеальных тел.	ПК-4	ПК-4.3	<i>Домашние задания</i>
5.	Основы теории пластичности и реологии.	ПК-4	ПК-4.2	<i>Собеседование</i>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы)) достижения компетенции	Оценочные средства
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				<i>Перечень вопросов</i>

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:

Практикоориентированные задания/домашние задания

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Перечень заданий из задачников и пособий из п.15

Проводится путем проверки выполненных упражнений

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Правильное решение задачи.
Хорошо	<i>Правильное решение задачи, но есть некоторые ошибки.</i>
Удовлетворительно	<i>Неправильное решение задачи, но верно выбран метод решения.</i>
Неудовлетворительно	<i>Неправильное решение задачи, причем неверно выбран метод решения.</i>

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Вопросы к экзамену:

1. Основные понятия. Сплошная среда. Однородная среда. Изотропные и анизотропные тела. Кинематическое описание сплошной среды.
2. Основные понятия. Внешние силы. Принцип Сен-Венана.
3. Основные понятия. Внутренние силы.
4. Основные понятия. Простейшие примеры однородных напряженных состояний.
5. Основные понятия. Упругость.
6. Упругая энергия и упругие потенциалы.
7. Термодинамика упругой деформации.
8. Распространение упругих волн в стержнях.
9. Постановка задач теории упругости. Полная система уравнений теории упругости в декартовых координатах
10. Постановка задач теории упругости в перемещениях. Уравнения Ламе.
11. Постановка задач теории упругости в напряжениях. Уравнения Бельтрами–Митчелла.
12. Вариационные уравнения теории упругости. Принцип Рейснера.

13. Вариационные принципы Лагранжа и Кастильяно.
14. Обобщенные силы и перемещения.
15. Основные теоремы теории упругости.
16. Задача о толстостенной трубе.
17. Простейшая задача о концентрации напряжений. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений.
18. Постановка динамических задач теории упругости.
19. Неравенство Рэлея и метод Ритца.
20. Распространение плоских волн в упругой среде.
21. Напряженное состояние в окрестности точки тела. Граничные условия. Тензор напряжений. Инварианты тензора напряжений. Дифференциальные уравнения равновесия.
22. Перемещения и деформации. Виды деформации. Однородная деформация. Составляющие малой деформации. Соотношения Коши. Тензор деформации. Линейная деформация элемента произвольного направления.
23. Плоская деформация.
24. Плоское напряженное состояние.

Зачтено	Полный и точный ответ на 1 вопрос экзаменационного билета; удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса; удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач; недостаточно последовательное изложение материала курса; умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов
Не зачтено	Неверные ответы на вопросы экзаменационных билетов

ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление/специальность:

01.03.03 Механика и математическое моделирование

Дисциплина: Б1.В.05 Основные модели неупругой сплошной среды

Профиль подготовки/специализация: Компьютерный инжиниринг в механике сплошных сред

Форма образования: Очная

Учебный год: 2020/2021

В связи с вступлением в силу приказа Минобрнауки от 26.11.2020 №1456 (зарегистрирован в Минюсте 27.05.2021 № 63650) «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования» изложить п. 11 РПД в следующей редакции:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-4	Способен строить математические модели для проведения расчетных работ с использованием современных инженерно-вычислительных комплексов	ПК-4.2	Выбирает эффективные математические модели и методы решения согласно поставленным прикладным задачам.	<p>Знать: способы построения математических моделей</p> <p>Уметь: выбирать эффективные методы решения поставленных задач</p> <p>Владеть: навыками работы в современных инженерно-вычислительных комплексах</p>

		ПК-4.3	Проводит построение математических моделей при проведении расчетных исследований.	Знать: основные этапы расчетных исследований Уметь: строить математические модели Владеть: навыками проведения расчетных исследований
--	--	--------	---	---

Заявленные результаты обучения свидетельствуют об освоении данной компетенции в полном объеме.

Ответственный исполнитель

профессор, каф.МиКМ

Спорыхин А.Н. _____. 20__

должность, подразделение

подпись

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО

Куратор ООП

по направлению/специальности

_____. 20__

подпись

расшифровка подписи

Изменения РПД рекомендованы НМС

факультета прикладной математики информатики и механики, кафедры механики и компьютерного моделирования

протокол № _____ от _____. 20__ г.