

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

МиКМ

проф. А.В. Ковалев

22.03.2024г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.01.01 Численные методы и алгоритмы в механике деформируемого твердого тела

**1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:**

01.04.03 Механика и математическое моделирование

**2. Профиль подготовки:** Прикладная механика и компьютерное моделирование

**3. Квалификация (степень) выпускника:** магистр

**4. Форма обучения:** Очная

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

**6. Составители программы:**

Гоцев Дмитрий Викторович, доктор физ-мат. наук, профессор, факультет ПММ, кафедра МиКМ, [rbgotsev@mail.ru](mailto:rbgotsev@mail.ru).

**7. Рекомендована:** НМС факультета ПММ протокол №5 от 22.03.2024

**8. Учебный год:** 2024- 2025

**Семестр(ы):** 3

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

изучение студентами соотношения точных методов, приближенных методов, и численных методов и алгоритмов для проведения исследований в области МДТТ.

*Задачи учебной дисциплины:*

Формирование у студента комплексного подхода к выбору вычислительного алгоритма при решении задач МДТТ, исходя из точности и потребного на расчет времени; применение современного программного обеспечения и методов анализа результатов.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина относится к к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.** Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: теоретическая механика, основы механики сплошной среды, методы вычислений, компьютерные науки. Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать специальные курсы по профилю подготовки, такие как вычислительный эксперимент в гидродинамике, компьютерные модели в механике, компьютерные технологии в пластических течениях.

## 11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

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.	<p>Знать:</p> <p>основные математические модели и методы механики деформируемых тел; результаты современных исследований в данной предметной области общие методы решения краевых задач для выбранных математических моделей</p> <p>Уметь:</p> <p>систематизировать методы фундаментальной математики для построения математических моделей в элементарных прикладных задачах механики; описать изучаемый механический процесс и сформулировать поставленную задачу на научном языке механики; обосновать выбор математической модели; изложить в устной и письменной форме формулировку математической задачи, соответствующей изучаемом механическому процессу, и метод её решения; самостоятельно осуществлять поиск специальной литературы и выбирать эффективные методы решения согласно поставленным задачам;</p> <p>Владеть:</p>

				методами математического анализа и теорией дифференциальных уравнений, необходимыми при решении задач механики деформируемого твердого тела;
ПКВ-7	Способен организовывать и проводить работы по обработке результатов расчетно-экспериментальных исследований	ПКВ-7.2	Применяет при обработке данных методы анализа экспериментальных результатов, стандартное и оригинальное программное обеспечение	<p>Знать:</p> <p>базовую терминологию, относящуюся к численным методам в механике деформируемого твердого тела, основные понятия, законы механики твердого тела и их математическое выражение; основные численные методы моделирования механики деформируемого твердого тела.</p> <p>Уметь:</p> <p>продемонстрировать связь фундаментальных опытов с законами механики твердого тела с помощью известных математических методов; моделировать явления механики деформируемого твердого тела и проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц; в соответствии с выбранными методами решения строить математическую модель с алгоритмом ее реализации</p> <p>Владеть:</p> <p>навыками постановки задач для компьютерного эксперимента, его проведением и обработки его результатов</p>

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

**Форма промежуточной аттестации(зачет):** зачет

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	Семестр
Контактная работа		24	24
в том числе:	лекции	12	12
	лабораторные	12	12
Самостоятельная работа		48	48
Промежуточная аттестация (для экзамена)			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. Лекции			
1.	Введение в МДТТ	Основные уравнения МДТТ. Примеры классических сред. Постановка краевых задач МДТТ.	Курс «Численные методы и алгоритмы в механике деформируемого твердого тела» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12380">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12380</a>
2.	Разностные методы.	Разностные операторы. Аппроксимация и устойчивость. Метод прогонки. Модельное уравнение теплопроводности. Модельное волновое уравнение. Одномерные и многомерные задачи.	
3.	Итерационные методы	Простая итерация. Итерационные методы со сложными операторами обращения. Решение статических задач теории упругости. Решение нелинейных задач МДТТ. Быстросходящийся метод последовательных приближений.	
4.	Вариационные методы.	Оценка приближения. Вариационные принципы. Вариационно-разностный метод. Метод конечных элементов.	
5.	Примеры решения задач МДТТ численными методами	Изгиб пластины, растяжение пластины с отверстием, деформирование цилиндрических и сферических тел	
2. Лабораторные занятия			
1.	Разностные методы.	Одномерные и многомерные задачи механики деформируемого твердого тела.	
2.	Итерационные методы	Решение статических задач неоднородной теории упругости. Решение нелинейных задач МДТТ.	
3.	Вариационные методы.	Вариационно-разностный метод. Метод конечных элементов при решении задач механики деформируемого твердого тела	
4.	Примеры решения задач МДТТ численными методами	Изгиб пластины, растяжение пластины с отверстиями различной конфигурации, деформирование цилиндрических и сферических тел	

### 13.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	лекции	Лаб. занятия	СРС	Всего
1.	Введение в МДТТ	2		8	10
2.	Разностные методы.	2	2	8	12
3.	Итерационные методы	2	2	8	12
4.	Вариационные методы.	2	2	8	12
5.	Примеры решения задач МДТТ численными методами	4	6	16	26

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

*(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др)*

Освоение дисциплины «Численные методы и алгоритмы в механике деформируемого твердого тела» включает лекционные занятия, лабораторные занятия и самостоятельную работу обучающихся.

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

Лекционные занятия посвящены рассмотрению теоретических основ численных методов моделирования механики деформируемого твердого тела, ключевых принципов, базовой терминологии.

Лабораторные занятия предназначены для формирования умений и навыков, закрепленных компетенций по ОПОП. Они организовываются в виде работы над практикоориентированными заданиями, домашние задания, собеседования.

Студентам, изучающим дисциплину, рекомендуется проведение самостоятельной работы с конспектами лекций, презентационным материалом, методическими указаниями, литературой.

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.

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

#### а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	<a href="#">Победря Б.Е.</a> Численные методы в теории упругости и пластичности. М.: Изд-во МГУ, 1995. [Электронный ресурс] <a href="http://lib.mexmat.ru/books/7887">http://lib.mexmat.ru/books/7887</a>
2	<a href="#">Кунин С.</a> Вычислительная физика. М.: Мир, 1992. [Электронный ресурс] <a href="https://www.studmed.ru/kunin-s-vychislitel'naya-fizika_6ffd8adbc7e.html">https://www.studmed.ru/kunin-s-vychislitel'naya-fizika_6ffd8adbc7e.html</a>
3.	<a href="#">Рябенский В.С.</a> Введение в вычислительную математику. М.: Физматлит, 2000. [Электронный ресурс] <a href="https://e.lanbook.com/book/2297">https://e.lanbook.com/book/2297</a>
4	<a href="#">Годунов С.К.</a> Разностные схемы. Введение в теорию. М.: Наука, 1973. [Электронный ресурс] <a href="http://www.mathnet.ru/links/c106a2d82b4c721c1059612710ec37ce/zvmmf9047.pdf">http://www.mathnet.ru/links/c106a2d82b4c721c1059612710ec37ce/zvmmf9047.pdf</a>

#### б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	<a href="#">Бакушев С.В.</a> Численные методы механики деформируемого твёрдого тела: учеб. пособие / С.В. Бакушев. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 268 с. [Электронный ресурс] <a href="http://library.pguas.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/1304/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2%D1%81%D0%B5.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://library.pguas.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/1304/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2%D1%81%D0%B5.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>

#### в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1.	Электронная библиотека ВГУ <a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a>
2.	Национальный цифровой ресурс «РУКОНТ»
3.	ЭБС «Консультант студента»
4.	ЭБС «Лань»
5	Численные методы механики деформируемого твёрдого тела /Д.В. Гоцев. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: <a href="https://edu.moodle.ru">https://edu.moodle.ru</a> .

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

Самостоятельная работа обучающегося должна включать подготовку к лабораторным занятиям 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.	<a href="#">Бакушев С.В.</a> Численные методы механики деформируемого твёрдого тела: учеб. пособие / С.В. Бакушев. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 268 с. [Электронный ресурс] <a href="http://library.pguas.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/1304/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2%D1%81%D0%B5.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://library.pguas.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/1304/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2%D1%81%D0%B5.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>
2	Численные методы механики деформируемого твёрдого тела /Д.В. Гоцев. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: <a href="https://edu.moodle.ru">https://edu.moodle.ru</a>

**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. Лабораторные 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), ПО Adobe Reader, пакет стандартных офисных приложений для работы с документами, таблицами (MS Office, МойОфис, LibreOffice), ПО Pascal ABC NET, ПО Free Pascal

### 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 в МДТТ	ПКВ-5	ПКВ-5.1	Лабораторные задания/домашние задания
2.	Разностные методы.	ПКВ-5,	ПКВ-5.1	Лабораторные задания/домашние задания
3.	Итерационные методы	ПКВ-5, ПКВ-7	ПКВ-5.1, ПКВ-7.2	Лабораторные задания/домашние задания
4.	Вариационные методы.	ПКВ-5,	ПКВ-5.1	Лабораторные задания/домашние задания
5.	Примеры решения задач МДТТ численными методами	ПКВ-7	ПКВ-7.2	Лабораторные задания/домашние задания
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				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: Практикоориентированные задания/домашние задания

#### Практикоориентированные задания/домашние задания

(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

Перечень заданий из задачников и пособий из п.16

Описание технологии проведения: Решение практикоориентированных заданий происходит в течение 1 часа 30 минут в учебной аудитории, для выполнения домашних заданий предусмотрены часы из СРС. Проверка правильности выполнения проводится путем проверки выполненных упражнений.

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Правильное решение задачи.
Хорошо	Правильное решение задачи, но есть некоторые ошибки.
Удовлетворительно	Неправильное решение задачи, но верно выбран метод решения.

Неудовлетворительно	Неправильное решение задачи, причем неверно выбран метод решения.
---------------------	---

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Собеседование по билетам

(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

Вопросы к зачету:

1. Численные методы решения алгебраических уравнений,
2. Вычисление собственных значений и собственных векторов матриц
3. Интерполирование
4. Численное интегрирование
5. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений
6. Метод сеток для дифференциальных уравнений в частных производных.
7. Основные уравнения МДТТ. Примеры классических сред. Постановка краевых задач МДТТ.
8. Разностные операторы. Аппроксимация и устойчивость.
9. Метод прогонки.
10. Модельное уравнение теплопроводности. Модельное волновое уравнение.
11. Одномерные и многомерные задачи.
12. Простая итерация. Итерационные методы со сложными операторами обращения.
13. Решение статических задач теории упругости.
14. Решение нелинейных задач МДТТ. Быстросходящийся метод последовательных приближений.
15. Оценка приближения. Вариационные принципы.
16. Вариационно-разностный метод.
17. Метод конечных элементов.
18. Изгиб пластины
19. Растяжение пластины с отверстием
20. Двухмерная стационарная гидродинамика
21. Нелинейная теплопроводность,

Описание технологии проведения. Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

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

Оценка	Критерии оценок
Зачтено	Знание основных понятий, законов и моделей МДТТ и общих методов решения краевых задач для выбранных математических моделей. Умение формулировать математическую задачу, соответствующую изучаемому механическому процессу и выбирать эффективные методы решения поставленных задач. Владение базовой терминологией численных методов в МДТТ, основ-



	ными численные методы моделирования МДТТ
Незачет	Нетвёрдое знание основных законов и моделей МДТТ. Неумение формулировать математическую задачу, соответствующую изучаемом механическому процессу. Плохое владение основными численными методами моделирования МДТТ.