

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



УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
МиКМ  
проф. А.В. Ковалев  
21.03.2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.О.11 Математическое моделирование и компьютерный эксперимент

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

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:**

Ковалев Алексей Викторович, доктор физ-мат. наук, профессор, факультет ПММ, кафедра МиКМ, [kovalev@amm.vsu.ru](mailto:kovalev@amm.vsu.ru)

Бондарева Мария Владимировна, старший преподаватель, факультет ПММ, кафедра МиКМ, [Dobrosotskaya\\_masha@mail.ru](mailto:Dobrosotskaya_masha@mail.ru)

**7. Рекомендована: НМС факультета ПММ протокол №6 от 17.03.2025**

**8. Учебный год: 2025-2026**

**Семестр(ы): 1**

### 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель изучения дисциплины: Формирование знаний, умений и навыков в области математического моделирования различных сложных механических, физических, биологических и других систем.

Задачи учебной дисциплины: овладение современными технологиями составления, решения и анализа математических моделей; овладение навыками декомпозиции, абстрагирования при решении практических задач в различных областях профессиональной деятельности; научить студентов популярно и доступно представлять результаты исследований.

### 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина входит в обязательную часть профессионального цикла. Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: дифференциальные уравнения, уравнения математической физики, численные методы, компьютерные науки, механика сплошной среды. Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать дисциплины: математические модели в МСС, компьютерные системы и технологии, а также специальные курсы по профилю подготовки.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-2	Способен разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности	ОПК-2.1	Накапливает и систематизирует знания в области современных методов математического и алгоритмического моделирования.	<p><i>Знать:</i> фундаментальные понятия теории моделирования, быть знакомым с принципами и современными методами построения математических моделей. основные этапы использования компьютерных систем и современных информационных технологий при математическом моделировании сложных систем, современным состоянием и перспективами развития дисциплины</p> <p><i>Уметь:</i> участвовать в коллективной разработке иерархических совокупностей математических моделей для процессов и систем со сложными физико-химическими взаимодействиями в различных разделах естествознания и отраслях техники. грамотно применять компьютерное моделирование в инженерно-технических расчетах и прогнозировании поведения сложных систем.</p> <p><i>Владеть:</i> навыками построения математических моделей различного уровня в разнообразных предметных областях естествознания и инженерно-конструкторской практики с использованием современных программных комплексов при поиске оптимальных режимов функционирования сложных инженерно-технических систем. навыками построения математических моделей различного</p>
		ОПК-2.2	Анализирует задачу, разрабатывает и применяет новые необходимые методы математического и алгоритмического моделирования для ее решения.	
ОПК-3	Способен разрабатывать новые методы экспериментальных исследований и применять современное экспериментальное оборудование в профессиональной деятельности	ОПК-3.1	Накапливает и систематизирует знания в области методов экспериментального исследования и современного экспериментального оборудования	

ОПК-5	Способен использовать в педагогической деятельности знания в области математики и механики, в том числе результаты собственных научных исследований	ОПК-5.3	Популярно и доступно излагает научные основы знаний в сфере механики и математического моделирования для аудитории различного уровня	уровня в разнообразных предметных областях естествознания и инженерно-конструкторской практики с использованием современных программных комплексов при поиске оптимальных режимов функционирования сложных инженерно-технических систем.
-------	---	---------	--	--

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 4/144.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен): экзамен

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			1
Контактная работа		48	48
в том числе:	лекции	16	16
	практические	16	16
	лабораторные	16	16
	курсовая работа		
	<i>др. виды (при наличии)</i>		
Самостоятельная работа		60	60
Промежуточная аттестация (для экзамена)			Экзамен
Итого:		144	144

#### 13.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Основы теории моделирования физико-химических процессов и систем	Моделирование как метод научного познания, теоретического исследования и инженерно-конструкторской практики. Теория познания, общая теория систем и системный анализ. Основные понятия, определения и представления теории моделирования. Принцип многовариантности. Иерархия моделей. Базовая модель. Построение моделей более высокого уровня иерархии с учетом физико-химических взаимодействий.	«Математическое моделирование и компьютерный эксперимент»

1.2	Теория математического моделирования с учётом физико-химических взаимодействий	<p>Определение и свойства математической модели. Метод математического моделирования как метод исследования реальных объектов. Основные этапы математического моделирования и компьютерного эксперимента.</p> <p>Подходы при анализе, моделировании и проектировании сложных научных или технических объектов и систем. Фундаментальные законы природы, как основа построения математических моделей в естествознании с учётом физико-химических взаимодействий.</p> <p>Математическое моделирование физических и химических взаимодействий. Замыкание моделей и определяющие уравнения в случае фазовых переходов, гомогенных и гетерогенных реакций. Условия однозначности. Формулировка начальных и граничных условий. Сопряженные задачи переноса.</p> <p>Преобразования и исследования математических моделей. Асимптотические модели. Методы регулярных и сингулярных возмущений.</p>	«Математическое моделирование и компьютерный эксперимент»
1.3	Дискретизация математических моделей с помощью МКО	Методы дискретизации математических моделей. Метод контрольных объемов.	«Математическое моделирование и компьютерный эксперимент»
1.4	Теоретические основы и технология компьютерного эксперимента	Краткая характеристика пакетов программ для проведения компьютерного эксперимента. Модели функционального наполнения современных пакетов программ. Протокол компьютерного эксперимента. Современные тенденции математического моделирования и компьютерного эксперимента.	«Математическое моделирование и компьютерный эксперимент»
<b>2. Практические задания</b>			
2.1	Теория математического моделирования с учётом физико-химических взаимодействий	Построение математических моделей для сорбционных процессов. Исследование построенных математических моделей	
2.2	Дискретизация математических моделей с помощью МКО	Построение дискретных моделей. Разработка вычислительных алгоритмов	
2.3	Теоретические основы и технология компьютерного эксперимента	Формулировка программных, функциональных спецификаций. Определение и разработка структур данных. Создание файлов исходных данных. Проектирование и создание модулей функционального назначения. Тестирование разработанных модулей. Формирование протокола компьютерного эксперимента. Визуализация результатов компьютерного эксперимента.	
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
3.1	Теория математического моделирования с учётом физико-химических взаимодействий	Постановка задач моделирования процессов переноса с учётом физико-химических взаимодействий. Построение уравнений баланса и определяющих уравнений. Запись условий однозначности. Приведение математической задачи к безразмерному виду.	«Математическое моделирование и компьютерный эксперимент»
3.2	Дискретизация математических моделей с помощью МКО	Применение метода контрольных объемов к построенным и преобразованным математическим моделям.	«Математическое моделирование и компьютерный эксперимент»
3.3	Теоретические основы и технология компьютерного эксперимента	Подготовка входных данных для ПО. Создание модулей функционального наполнения, их тестирование и верификация. Проведение компьютерного эксперимента. Визуализация результатов компьютерного эксперимента и формулировка выводов.	«Математическое моделирование и компьютерный эксперимент»

### 13.3 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
-------	---------------------------------	--------	--------------	--------------	------------------------	-------

1.	Основы теории моделирования физико-химических процессов и систем	4			6	10
2.	Теория математического моделирования с учётом физико-химических взаимодействий	6	9	5	19	39
3.	Дискретизация математических моделей с помощью МКО	2			10	12
4.	Теоретические основы и технология компьютерного эксперимента	4	7	11	25	47
	Итого	16	16	16	60	108

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

Студентам, изучающим дисциплину, рекомендуется проведение самостоятельной работы с конспектами лекций, презентационным материалом, методическими указаниями, литературой. 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	Темам, Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред : учебное пособие / Р. Темам, А. Миранвиль ; перевод с английского И. О. Арушаняна. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 323 с. — ISBN 978-5-93208-542-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/166739">https://e.lanbook.com/book/166739</a>
2	Горлач, Б. А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация : учебное пособие для вузов / Б. А. Горлач, В. Г. Шахов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 292 с. — ISBN 978-5-8114-8415-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/176673">https://e.lanbook.com/book/176673</a>
3	Берестова, С. А. Математическое моделирование в инженерии : учебник / С. А. Берестова, Н. Е. Мисюра, Е. А. Митюшов. — Екатеринбург : УрФУ, 2018. — 244 с. — ISBN 978-5-7996-2499-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/170101">https://e.lanbook.com/book/170101</a>
4	Коржов Е.Н. Математическое моделирование: учебное пособие/ Е.Н. Коржов, – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2012. - 76 с URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-222.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-222.pdf</a> .

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Каштаева, С. В. Математическое моделирование : учебное пособие / С. В. Каштаева. — Пермь : ПГАТУ, 2020. — 112 с. — ISBN 978-5-94279-487-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/156708">https://e.lanbook.com/book/156708</a> .
2	Введение в математическое моделирование : учебное пособие / В. Н. Ашихмин, М. Б. Гитман, И. Э. Келлер [и др.] ; под редакцией П. В. Трусова. — Москва : Логос, 2020. — 440 с. — ISBN 978-5-98704-637-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/162966">https://e.lanbook.com/book/162966</a>
3	Лихачев, А. В. Методы математического моделирования процессов и систем : учебное пособие / А. В. Лихачев. — Новосибирск : НГТУ, 2015. — 96 с. — ISBN 978-5-7782-2655-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118308">https://e.lanbook.com/book/118308</a>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1.	Электронно-библиотечная система «Консультант студента». - Режим доступа: <a href="https://www.studentlibrary.ru/">https://www.studentlibrary.ru/</a>

2.	Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ осуществляется по адресу: <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a> )
3.	Электронный каталог Научной библиотеки Воронежского государственного университета. – Режим доступа: <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> .
4.	Онлайн-курс, размещенный на LMS-платформе edu.vsu.ru: «Математическое моделирование и вычислительный эксперимент»

## 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, контрольной работе 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.

При реализации дисциплины используются следующие образовательные технологии: логическое построение дисциплины, обозначение теоретического и практического компонентов в учебном материале.

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

- 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:

Учебная аудитория для проведения лекций: специализированная мебель, компьютер (ноутбук), мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения).

Учебная аудитория для проведения практических занятий и лабораторных работ: специализированная мебель, персональные компьютеры для индивидуальной работы.

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.	Основы теории моделирования физико-химических процессов и систем	ОПК-2 ОПК-3	ОПК-2.1 ОПК-3.1 ОПК-2.2	<i>Домашние задания</i>
2.	Теория математического моделирования с учётом физико-химических взаимодействий	ОПК-2 ОПК-5	ОПК-2.1 ОПК-5.3	<i>Лабораторные задания/домашние задания/практические задания</i>
3.	Дискретизация математических моделей с помощью МКО	ОПК-2 ОПК-3	ОПК-2.2 ОПК-3.1	<i>Лабораторные задания/домашние задания</i>
4.	Теоретические основы и технология компьютерного эксперимента	ОПК-5 ОПК-3	ОПК-5.3 ОПК-3.1	<i>Лабораторные задания/домашние задания/практические задания</i>
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				<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

#### **Перечень тем индивидуальных заданий**

1. Охлаждение шарообразного твердого тела покоящейся жидкой или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Граничные условия типа Дирихле (**базовая модель**).
2. Охлаждение шарообразного твердого тела покоящейся жидкой или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Граничные условия типа Неймана.
3. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Граничные условия конвективного типа (типа Робина).
4. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Граничные условия сопряженного типа.
5. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или газообразной окружающей средой с учетом теплового  $\delta$ -слоя Нернста вокруг твердого тела. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Граничные условия на поверхности раздела твердое тело / окружающая среда сопряженного типа.
6. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или покоящейся газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды одного порядка с размером твердого тела, а его внешняя граница теплоизолирована. На поверхности



18. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или покоящейся газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды одного порядка с размером твердого тела, а его внешняя граница теплоизолирована. Внутри твердого тела имеются распределенные стоки тепла, а на его поверхности раздела с окружающей средой задаются граничные условия сопряженного типа

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 экзаменационным билетам

*(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)*

Вопросы к экзамену:

1. Предмет исследования в физико-химической механике (ФХМ).
2. Краткий исторический очерк развития механики с учётом физико-химических взаимодействий.
3. Основные понятия и определения ФХ процессов и систем.
4. Основные законы естествознания и уравнения балансов.
5. Реологические и определяющие уравнения. Законы Фика и Фурье.
6. Принцип построения определяющих уравнений с помощью неравновесной термодинамики.
7. Перекрестные эффекты, соотношения Онзагера.
8. О постановке граничных условий с учетом физико-химических взаимодействий.
9. Фазовые переходы и особенность постановки задач исследования
10. Классическая постановка задачи Стефана о промерзании грунта.
11. Вывод условия Стефана для случая теплофизических и физико-химических процессов.
12. Виды химических взаимодействий: гомогенные и гетерогенные химические реакции
13. Постановка задач исследования с учетом химических реакций.
14. Виды и типы процессов поглощения веществ с учетом физико-химических взаимодействий.
15. Виды процессов сорбции: абсорбция, адсорбция, хемосорбция, десорбция, электросорбция и др.
16. Сорбционные и мембранные процессы и их моделирование.
17. Процессы редокс-сорбции и их математическое моделирование.
18. Наноконпозиты металл – ионообменник как высоко технологичный сорбент.
19. Понятие скорости химической реакции и построение для них математических моделей.
20. Принцип независимости в ФХ системах.
21. Стехиометрическое уравнение.
22. Закон действующих масс.

23. Уравнение Аррениуса.
24. Химический потенциал.
25. Постановка задачи кинетики сорбции.
26. Общая постановка задачи динамики сорбции.
27. Модель процесса сорбции для замкнутых систем водоподготовки.
28. Редокситы и процесс редокс-сорбции нанокompозитами металл – ионообменник.
29. Основные факторы, определяющие функционирования систем редокс-сорбции
30. Построение иерархической схемы моделей процесса редокс-сорбции
31. Формулы для образования моделей первого, второго и третьего уровней иерархии.
32. Построение базовой модели кинетики процессов сорбции.
33. Установление основных закономерностей сорбционных процессов на основе базовой модели.
34. Построение математических моделей первого уровня иерархии для процессов кинетики.
35. Построение математических моделей первого уровня иерархии для процессов динамики.
36. Построение математических моделей второго уровня иерархии для процессов кинетики
37. Построение математических моделей второго уровня иерархии для процессов динамики.
38. Концептуальная модель реактора для процесса редокс-сорбции во внешнем электрическом поле.
39. О граничном условии на поверхности сорбента в случае его катодной поляризации.
40. Моделирование замкнутых систем водоподготовки в устройстве на основе процесса редокс-сорбции.
41. Применение интегро-интерполяционного метода решения задач кинетики и динамики процессов редокс-сорбции
42. Применение технологии программирования OLYMPUS для разработки программного обеспечения процессов редокс-сорбции.
43. Проведение компьютерного эксперимента для процессов редокс-сорбции.
44. Анализ результатов компьютерного эксперимента процессов редокс-сорбции: время наступления равновесного состояния на отдельном зерне сорбента, профили концентрации активного компонента в характерные моменты времени, изменение концентрации активного компонента в центре и на поверхности зерна сорбента, изменение плотности диффузионного потока через поверхность сорбента, зависимость степени полноты процесса сорбции.

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

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Успешное выполнение индивидуального задания, на все вопросы билета даны полные и правильные ответы.
Хорошо	Успешное выполнение индивидуального задания, На один из вопросов билета не дан правильный ответ
Удовлетворительно	Успешное выполнение индивидуального задания, На два вопроса

	билета даны не правильные ответы
Неудовлетворительно	Не выполнено индивидуальное задание или на все вопросы билета даны не правильные или не полные ответы