

**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Алтайский государственный педагогический**  
**университет»**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
и инновационной деятельности  
Н.А. Матвеева

25 марта 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
(МОДУЛЯ)**

**Математические методы в реологии**

Образовательная программа высшего образования – программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности:

**1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы**

Направленность программы:

Уровень образования:  
высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Область науки:

**1. Естественные науки**

Группа научных специальностей:

**1.1. Математика и механика**

Форма обучения:

**Очная**

Объем дисциплины:

**2 з.е.**

Барнаул 2024

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951, паспортом научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Рабочая программа дисциплины принята на заседании кафедры математики и методики обучения математике от «27» февраля 2024 г. (протокол №6).

Составитель:

Пышнограй Григорий Владимирович, профессор кафедры математики и методики обучения математике

## **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Цель:** освоение аспирантами современных методов численного анализа, обучение аспирантов принципам конструирования вычислительных алгоритмов для решения современных проблем математической физики и формирование подходов к выполнению аспирантами исследований, связанных с работой над диссертацией.

**Задачи:**

- формирование базовых знаний в области численных методов, обеспечивающих технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение аспирантов принципам конструирования вычислительных алгоритмов для решения современных проблем математической физики;
- формирование подходов к выполнению аспирантами исследований, связанных с работой над диссертацией.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ**

Дисциплина «Методы частиц в гидродинамических сплошных средах» относится к дисциплинам по выбору вариативной части (элективным курсам) образовательного компонента программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре. Шифр дисциплины в учебном плане 2.1.2.1.

Освоение данной дисциплины является необходимой основой для успешного освоения аспирантами последующих дисциплин, практики.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

**знать:**

- методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы с использованием современных компьютерных технологий. Современные подходы, методы и модели, используемые при решении задач реологии;
- способы представления и методы передачи информации обучаемым;
- принципы математического моделирования. Способы описания динамических процессов в жидкостях, газе и плазме при различных внешних воздействиях;

- основные реологические характеристики с целью интерпретации наблюдений и экспериментов;
- интегральную (балансовую) и дифференциальную формы законов сохранения, законы термодинамики.

**уметь:**

- выдвигать гипотезы и предлагать пути их проверки. Делать выводы на основе натурных и экспериментальных данных, представленных в виде графика, таблицы или диаграммы;
- представлять математическую модель изучаемого явления или процесса с целью получения численного решения поставленной задачи. Строить замкнутые системы уравнений, описывающих поведение конкретной реологической системы, ставить для них краевые и начальные условия, выбирать способ решения поставленной задачи;
- осуществлять отбор материала, характеризующего достижения реологии с учетом специфики направления и направленности подготовки.

**владеть:**

- основами отбора учебного материала при обучении дисциплинам по профилю «Механика жидкости, газа и плазмы»;
- умением работы с различными средствами моделирования реологических систем;
- умением работать с экспертными системами и базами данных в области реологии;
- основами отбора учебного материала в образовательной деятельности.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение часов по годам обучения		
		1	2	3
Аудиторные занятия (всего)	8	8		
В том числе:				
Лекции (Л)	4	4		
Практические занятия (ПЗ)	4	4		
Самостоятельная работа (СР)	64	64		
Вид промежуточной аттестации: зачет				
Общая трудоемкость дисциплины:	72	72		

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Введение в реологию полимерных сред	Становление реологии как науки. Отличие реологии от гидродинамики.
2.	Законы сохранения в реологии текучих сред	Закон сохранения массы, закон сохранения импульса. Реологическое уравнение состояния.
3.	Реологические модели	Модель Максвелла. Линейный характер модели Максвелла.. Реологические модели в интегральной и дифференциальной формах.
4.	Модель Виноградова-Покровского	Микроструктурный подход в реологии полимеров. Уравнения динамики макромолекулы. Осреднение. Реологическое определяющее соотношение Виноградова-Покровского.
5.	Линейная вязкоупругость	Динамический модуль сдвига. Частотные зависимости компонент динамического модуля сдвига. Многомодовый характер.
6.	Нелинейные эффекты при простом сдвиге и одноосном растяжении	Вискозиметрические течения. Зависимость стационарной сдвиговой вязкости от скорости сдвига. Первая и вторая разности нормальных напряжений. Вязкость при одноосном растяжении. Установление вискозиметрических функций.
7.	Математическое моделирование сдвиговых колебаний с большой амплитудой	Метод LAOS в динамике полимерных сред. Фигуры Лиссажу.
8.	Моделирование технологических процессов переработки полимеров	Одномерное приближение при описании процессов формования полимерных пленок из растворов и расплавов полимеров

### Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	СРС	Всего

1.	Введение в реологию полимерных сред	0,5	0,5	2	3
2.	Законы сохранения в реологии текучих сред	0,5	0,5	8	9
3.	Реологические модели	1	1	14	16
4.	Модель Виноградова-Покровского	0,5	0,5	4	5
5.	Линейная вязкоупругость			4	4
6.	Нелинейные эффекты при простом сдвиге и одноосном растяжении	0,5	0,5	10	11
7.	Математическое моделирование сдвиговых колебаний с большой амплитудой	0,5	0,5	12	13
8.	Моделирование технологических процессов переработки полимеров	0,5	0,5	10	11
	<b>Итого</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>64</b>	<b>72</b>

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Основная литература

Тип	Книга	Количество
Основная	Марсден, Дж. Э. Математические основы механики жидкости / Дж. Э. Марсден, А. Чорин ; пер. с англ. В. Е. Зализняка ; под ред. А. В. Борисова. — Москва; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика: Институт компьютерных исследований, 2019. — 204 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/92048.html">http://www.iprbookshop.ru/92048.html</a> (дата обращения: 31.01.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Основная	Огородников, В. А. Вязкость и ее роль в динамических процессах / В. А. Огородников. — Саров, 2012. — 239 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/60956.html">http://www.iprbookshop.ru/60956.html</a> (дата обращения: 13.09.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999

### 6.2. Дополнительная литература

Тип	Книга	Количество
Дополнительная	Воронина, П. В. Математическое моделирование в задачах: учебное пособие / П. В. Воронина, В. Н. Лапин. — Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2023. — 80 с. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/134573.html">https://www.iprbookshop.ru/134573.html</a> (дата обращения: 14.12.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Давыдов, А. П. Основы механики жидкости и теплотехники в системах ТГВ: учебно-методическое пособие / А. П. Давыдов, М. А. Валиуллин, З. Х. Замалеев. — Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. — 91 с. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/105743.html">https://www.iprbookshop.ru/105743.html</a> (дата обращения: 08.02.2024). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Лотов, К. В. Физика сплошных сред: учебное пособие для студентов и аспирантов / К. В. Лотов. — Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2019. — 144 с. —	9999

ная	URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/92018.html">https://www.iprbookshop.ru/92018.html</a> (дата обращения: 08.02.2024). — Текст (визуальный) : электронный.	
Дополнительная	Папуша, А. Н. Механика сплошных сред: учебник / А. Н. Папуша. — Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2019. — 688 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/91963.html">http://www.iprbookshop.ru/91963.html</a> (дата обращения: 31.01.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Семенов, М. Е. Математическое моделирование физических процессов: учебное пособие / М. Е. Семенов, Н. Н. Некрасова. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 94 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/72919.html">http://www.iprbookshop.ru/72919.html</a> (дата обращения: 31.01.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Склярова, Е. А. Компьютерное моделирование физических явлений: учебное пособие / Е. А. Склярова, В. М. Малютин. — Томск: Томский политехнический университет, 2012. — 152 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/34668">http://www.iprbookshop.ru/34668</a> (дата обращения: 31.01.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Янилкин, Ю. В. Математическое моделирование турбулентного перемешивания в сжимаемых средах: курс лекций [для научных сотрудников и студентов]: в 2 т. Т. 1 / Ю. В. Янилкин, В. П. Стаценко, В. И. Козлов. — Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2019. — 358 с. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/101932.html">https://www.iprbookshop.ru/101932.html</a> (дата обращения: 08.02.2024). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Янилкин, Ю. В. Математическое моделирование турбулентного перемешивания в сжимаемых средах: курс лекций [для научных сотрудников и студентов]: в 2 т. Т. 2 / Ю. В. Янилкин, В. П. Стаценко, В. И. Козлов. — Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2020. — 427 с. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/101933.html">https://www.iprbookshop.ru/101933.html</a> (дата обращения: 08.02.2024). — Текст (визуальный) : электронный.	9999

### 6.3. Информационные, информационно-справочные системы и профессиональные базы данных

1. IPR Smart : цифровой образовательный ресурс / Ай Пи Ар Медиа. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
2. Электронная библиотека АлтГПА / Алтайский государственный педагогический университет, Научно-педагогическая библиотека. – URL: <http://library.altspu.ru/elb.phtml> (дата обращения: 01.09.2023).
3. МЭБ. Межвузовская электронная библиотека / Новосибирский государственный педагогический университет. – URL: <https://icdlb.nspu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
4. eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. – URL: <https://www.elibrary.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
5. Межрегиональная аналитическая роспись статей (МАРС) / АРБИКОН. – URL: [https://arbicon.ru/services/mars\\_analitic.html](https://arbicon.ru/services/mars_analitic.html) (дата обращения: 01.09.2023).
6. Национальная электронная библиотека : федеральная государственная информационная система / Министерство культуры Российской Федерации, Российская государственная библиотека. – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 01.09.2023).
7. Президентская библиотека имени Б. Н. Ельцина. – URL: <https://www.prlib.ru/> (дата обращения: 01.09.2023).

8. Гарант: информационное-правовое обеспечение : [инсталляционный сетевой многопользовательский комплект]. – URL: <http://garant.altspu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). –Режим доступа: для авторизир. пользователей.

## **7. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Для преподавателей:**

Преподавателю следует иметь в виду, что освоение курса требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в программе.

Важно помнить, что аудиторные занятия помогают аспиранту овладеть программным материалом благодаря правильной расстановке преподавателем необходимых акцентов при изложении материала. Кроме того, во время аудиторных занятий имеет место прямой визуальный и эмоциональный контакт аспиранта с преподавателем, обеспечивающий более полную реализацию воспитательной компоненты обучения, в том числе на личном примере педагога (культура речи, манера одеваться, общаться со студентами и аудиторией в целом, и т.д.).

Преподавателю следует иметь в виду, что содержание занятий должно удовлетворять следующим дидактическим требованиям, обеспечивающим активную работу аспиранта и эффективное освоение им программного материала:

- логичности, четкости и ясности в изложении материала;
- последовательности изложения материала - от простого к сложному, от известного к неизвестному;
- проблемности (с широким привлечением диалога, дискуссии);
- наглядности;
- связи с практикой и будущей профессиональной деятельностью аспиранта.

Преподавателю необходимо систематически контролировать результаты самостоятельной работы и учитывать их при аттестации аспиранта.

При проведении аттестации студентов важно помнить, что систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний. Проверка, контроль и оценка знаний аспиранта требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критерииев оценки знаний обязательно и для преподавателя, и для аспиранта.

### **7.2. Для аспирантов:**

Освоение курса требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в программе.

Основными видами учебной работы является самостоятельная работа. При самостоятельной работе следует использовать:

- учебно-методическую литературу из рекомендованного списка;
  - ресурсы информационной поддержки учебного процесса.
- Аспиранту необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации.

### **7.3. Рекомендации для обучающихся ОВЗ**

Специальные условия обучения в АлтГПУ определены «Положением об инклюзивном образовании» (утверждено приказом ректора от 25.12.2015 г. № 312/1п).

## **8. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ И САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА**

### **8.2. Перечень вопросов или заданий для текущего контроля**

Примерный перечень вопросов для текущего контроля:

1. Роль математического моделирования и численных методов в естественных науках. Принципы проведения вычислительного эксперимента.
2. Этапы вычислительного эксперимента. Модель, алгоритм, программа.
3. Составление программы численных экспериментов, создание численно-экспериментальной модели, выполнение контрольных экспериментов, проведение серийных экспериментов, обработка экспериментальных данных и их интерпретация.
4. Методы визуализации многомерных расчетов.
5. Основные этапы развития реологии.
6. Основные этапы развития численного моделирования на примере математических методов в реологии полимерных систем.
7. Моделирование как метод научного познания.
8. Виды моделей.
9. Функции моделирования.
10. Методы моделирования.
11. Моделирование и системный подход.
12. Математическое моделирование.
13. Особенности и области применения математического моделирования.
14. Основные этапы моделирования.
15. Требования к модели.
16. Построение математической, алгоритмической и программной модели исследуемой системы.
17. Обработка и анализ результатов моделирования.
18. Статистическая обработка результатов моделирования.
19. Анализ и интерпретация результатов моделирования.
20. Методы исследования математических моделей. Устойчивость. Проверка адекватности математических моделей.

Примерный перечень заданий для текущего контроля:

1. Используя современные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии, построить математическую, алгоритмическую и программную модель исследуемой системы.
2. Используя современные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии, провести обработку и анализ результатов моделирования.
3. Показать готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования, изложив методы построения математических моделей на основе фундаментальных законов природы.
4. Показать готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования, проведя проверку адекватности математической модели.
5. Исследовать математическую модель Максвелла для описания параметров потоков движущихся сред.
6. Моделирование течения полимерного расплава в сходящемся канале с прямоугольным сечением.
7. Осуществить экспериментальные исследования технологических процессов, на примере процесса формирования полимерных пленок из расплава полимера.
8. Осуществить экспериментальные исследования стационарных вискозиметрических функций при простом сдвиговом течении полимера.
9. Описать методы моделирования применительно к исследованию кинетических уравнений однородных и многофазных сред.
10. Продемонстрировать способность применять аналитические, асимптотические и численные методы в области визуализации многомерных расчетов.
11. Продемонстрировать готовность к преподавательской деятельности в области профессиональных дисциплин по профилю "Механика жидкости, газа и плазмы", выявив требования к НИР аспиранта. Сформулировать цели и задачи, объект и предмет исследования.
12. Продемонстрировать готовность к преподавательской деятельности в области профессиональных дисциплин по профилю "Механика жидкости, газа и плазмы", выявив требования к выполнению исследования на тему «Подготовка презентации научного доклада». Сформулировать цели и задачи, объект и предмет исследования.

### **8.3. Перечень вопросов для самостоятельной работы**

Примерный перечень вопросов для самостоятельной работы:

1. Формулировка уравнений динамики макромолекулы.
2. Модель Максвелла.
3. Модель Гизекуса.
4. Модель Виноградова-Покровского.
5. Математическое моделирование вискозиметрических функций.
6. Стационарные вискозиметрические функции при простом сдвиге.
7. Стационарные вискозиметрические функции при одноосном растяжении.
8. Нестационарные вискозиметрические функции при простом сдвиге.
9. Нестационарные вискозиметрические функции при одноосном растяжении.
10. Реологические модели при описании технологических процессов, на примере процесса формирования полимерных пленок из расплава полимера.
11. Реологические модели при описании технологических процессов, на примере процесса формирования полимерных пленок из раствора полимера.
12. Моделирование течения полимерного расплава в сходящемся канале с прямоугольным сечением.

### **9. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ**

Промежуточный контроль и критерии оценок представлен в программе Промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) и практике.

## Список литературы

Тип	Книга	Количество
Основная	Марсден, Дж. Э. Математические основы механики жидкости / Дж. Э. Марсден, А. Чорин ; пер. с англ. В. Е. Зализяка ; под ред. А. В. Борисова. — Москва; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика: Институт компьютерных исследований, 2019. — 204 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/92048.html">http://www.iprbookshop.ru/92048.html</a> (дата обращения: 31.01.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Основная	Огородников, В. А. Вязкость и ее роль в динамических процессах / В. А. Огородников. — Саров, 2012. — 239 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/60956.html">http://www.iprbookshop.ru/60956.html</a> (дата обращения: 31.01.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Давыдов, А. П. Основы механики жидкости и теплотехники в системах ТГВ: учебно-методическое пособие / А. П. Давыдов, М. А. Валиуллин, З. Х. Замалеев. — Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. — 91 с. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/105743.html">https://www.iprbookshop.ru/105743.html</a> (дата обращения: 02.02.2022). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Семенов, М. Е. Математическое моделирование физических процессов: учебное пособие / М. Е. Семенов, Н. Н. Некрасова. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 94 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/72919.html">http://www.iprbookshop.ru/72919.html</a> (дата обращения: 31.01.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Склярова, Е. А. Компьютерное моделирование физических явлений: учебное пособие / Е. А. Склярова, В. М. Малютин. — Томск: Томский политехнический университет, 2012. — 152 с. — URL: <a href="http://www.iprbookshop.ru/34668">http://www.iprbookshop.ru/34668</a> (дата обращения: 31.01.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999