

**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)

Реология жидкости с памятью

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.

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: приобретение аспирантами знаний в области реологического поведения текучих полимеров, как типичных представителей сред с памятью, при различных режимах деформирования, что является основой в технологии деталей и изделий из полимерных материалов.

Задачи:

- приобретение компетенций в области деформации материалов под влиянием приложенных напряжений, внутренней реакции материала на приложенные силы, как основы гидростатики и кинематики жидкостей, т. е. процессов, которые реализуются в технологии полимерных материалов и деталей из них;
- приобретение знаний о реологическом поведении реальных полимеров и полимерных материалов;
- овладение теоретическими методами использования реологических характеристик полимеров и полимерных материалов, получаемых в стандартных реологических экспериментах, для выбора адекватной реологической модели исследуемого материала и дальнейшего предсказания поведения материала в реальных условиях деформирования
- 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 2.1.2.2.

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:

- основные понятия физико-механики и инженерной реологии дисперсных систем;
- теоретические основы и специальный математический аппарат решения задач численного моделирования процессов деформирования реологически сложных сред;
- теоретические основы механики жидкостей, гидро-механики, гидростатики и кинематики вязких жидкостей; особенности деформирования (течения) ньютоновских и неньютоновских (вязко-упругих) жидкостей (полимерных систем); влияние внешних сил на реологическое поведение полимерных систем; влияние состава полимерной системы на её реологическое поведение;
- об особенностях влияния температуры на поведение полимерных систем; кривые течения основных реологических типов полимерных систем и область их переработки.

уметь:

- использовать аппарат математики для построения и анализа различных схем численного моделирования;
- определять реологический тип материалов по их реограммам;
- составлять механические модели сложных реологических тел, используя модели идеальных тел;
- теоретически анализировать основные физико-химические процессы, протекающие в полимерных системах в процессах деформирования (течения), отвечающих технологическим процессам получения изделий из полимеров.

владеть:

- общими методами построения реологических соотношений, учитывающих особенности поведения сред с памятью;
- общими методами построения математических моделей различных физических явлений;
- владеть методами обработки вискозиметрических экспериментов для оценки реологических характеристик полимерных систем; аналитическими и графическими приемами обработки результатов испытаний.

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.	Предмет реологии	Напряжения (нормальные и касательные), их матричное представление, главные напряжения, инварианты тензора напряжений. Напряжения при всестороннем сжатии, сдвиге, одноосном растяжении. Шаровой тензор и девиатор напряжений. Деформации (тензор больших и малых деформаций и их инварианты), главные удлинения. Деформации при всестороннем сжатии, сдвиге, одноосном растяжении, деформации по Генки. Скорости деформации. Соотношение между скоростями деформации и градиентами скоростей. Инварианты тензора скоростей деформации. Реологическое уравнение ньютоновской жидкости.
2.	Линейная вязкоупругость	Модели упругих (Гук), вязких (Ньютон) и вязкопластичных (Бингам) тел. Динамические режимы деформирования. Динамические модули (накопления и потерь), комплексная вязкость. Принцип суперпозиции Больцмана. Функции релаксации напряжений и ползучести. Модели вязкоупругих (Максвелл, Кельвин-Фойхт) тел. Понятие о ньютоновских и неньютоновских жидкостях. Псевдопластичные, бингамовские и дилатантные жидкости. Тиксотропия и реопексия. Причины аномалии вязкости.

		Активационные (Эйринг), структурные (Грессли) и гидродинамические теории. Эмпирические зависимости (степенной закон, модели Карро, Эллиса, Бингама). Нормальные напряжения, их причины и проявление.
3.	Зависимость вязкости от внешних факторов	Температурная зависимость вязкости. Теория Эйринга, теория свободного объёма, уравнение ВЛФ. Обобщённая температурно-инвариантная характеристика вязкостных свойств расплавов полимеров. Принцип температурно-частотной суперпозиции. Зависимость вязкости от давления. Зависимость вязкости от молекулярной массы полимера и степени его разветвлённости.
4.	Течение расплавов полимеров, описание и анализ поведения	Основные варианты, реализующиеся при течении ньютоновских, псевдопластичных и бингамовских жидкостей. Расчёт напряжений сдвига, скоростей сдвига и скоростей течения для ньютоновских и псевдопластичных жидкостей.
5.	Реология растворов полимеров	Течение полимерных жидкостей. Разбавленные растворы. Зависимость характеристической вязкости от молекулярной массы. Уравнения Штаудингера, Марка-Куна, Флори-Фокса. Зависимость удельной вязкости от концентрации раствора. Уравнения Хаггинса, Мартина. Концентрированные растворы. Зависимость вязкости от концентрации раствора. Течение и вязкость эмульсий (смеси полимеров).
6.	Реология нанодисперсных систем	Структурообразование в дисперсных системах, типы структур в дисперсных системах. Основные факторы, влияющие на образование и устойчивость дисперсных структур. Переходы от одного типа структуры к другой. Периодические коллоидные системы (ПКС). Значение золь-гель перехода. Вязкость истинных и коллоидных растворов. Понятие структурной вязкости.
7.	Моделирование макромолекулярных линейных полимерных систем в текучем состоянии	Мезоскопический подход в описании реологии текучих линейных полимерных систем. Теоретическое и численное исследование реологических моделей.

Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	СРС	Всего
1.	Предмет реологии	0,5	0,5	2	3
2.	Линейная вязкоупругость	0,5	0,5	8	9
3.	Зависимость вязкости от внешних факторов	1	1	14	16
4.	Течение расплавов полимеров, описание и анализ поведения	0,5	0,5	8	10
5.	Реология растворов полимеров	0,5	0,5	10	10
6.	Реология нанодисперсных систем	0,5	0,5	10	11
7.	Моделирование макромолекулярных линейных полимерных систем в текучем состоянии	0,5	0,5	12	13
	Итого	4	4	64	72

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

Тип	Книга	Количество
Основная	Завражин, Д. О. Основы реологии полимеров и технологические методы переработки полимерных материалов: учебное пособие / Д. О. Завражин, О. Г. Маликов, П. С. Беляев ; Тамбовский государственный технический университет. — Тамбов: ТГТУ, 2017. — 109 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/85940.html (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: http://www.iprbookshop.ru/60956.html (дата обращения: 13.09.2023). — Текст (визуальный) : электронный.	9999

6.2. Дополнительная литература

Тип	Книга	Количество
Дополнительная	Вольфсон, С. И. Реология и молекулярные характеристики эластомерных композиций: монография / С. И. Вольфсон. — Казань, 2009. — 112 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/61799.html (дата обращения: 11.02.2022). — 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:	9999

	https://www.iprbookshop.ru/105743.html (дата обращения: 08.02.2024). — Текст (визуальный) : электронный.	
Дополнительная	Хакимуллин, Ю. Н. Химия и физика полимеров. Растворы и смеси полимеров: учебное пособие / Ю. Н. Хакимуллин, Л. Ю. Закирова. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2019. — 132 с. — URL: https://www.iprbookshop.ru/109614.html (дата обращения: 08.02.2024). — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Хакимуллин, Ю. Н. Химия и физика полимеров. Физические состояния полимеров: учебное пособие / Ю. Н. Хакимуллин, Л. Ю. Закирова. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. — 141 с. — URL: https://www.iprbookshop.ru/79597.html (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://icdlib.nspru.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 (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 аудиторские 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 критериев 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

8.1. Перечень вопросов или заданий для текущего контроля

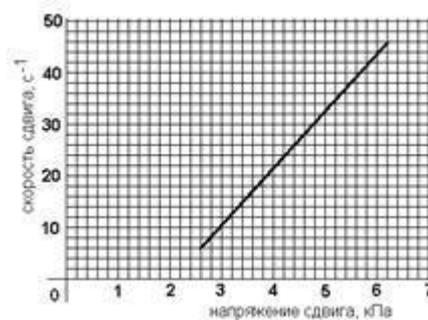
Примерный перечень вопросов:

1. Напряжения (нормальные и касательные), их матричное представление, главные напряжения, инварианты тензора напряжений.
2. Напряжения при всестороннем сжатии, сдвиге, одноосном растяжении.
3. Шаровой тензор и девиатор напряжений.
4. Деформации (тензор больших и малых деформаций и их инварианты), главные удлинения.
5. Деформации при всестороннем сжатии, сдвиге, одноосном растяжении, деформации по Генки.
6. Скорости деформации. Соотношение между скоростями деформации и градиентами скоростей. Инварианты тензора скоростей деформации.
7. Реологическое уравнение ньютоновской жидкости.
8. Модели упругих (Гук), вязких (Ньютон) и вязкопластичных (Бингам) тел.
9. Динамические режимы деформирования. Динамические модули (накопления и потерь), комплексная вязкость. Принцип суперпозиции Больцмана.
10. Функции релаксации напряжений и ползучести. Модели вязкоупругих (Максвелл, Кельвин-Фойхт) тел.
11. Понятие о ньютоновских и неньютоновских жидкостях.

Примерный перечень заданий:

1. Опишите известные реологические модели.
2. Запишите реологические уравнения для разных моделей и изобразите кривые, им соответствующие.
3. Приведите примеры реальных жидкостей для различных реологических моделей.
4. Определить эффективную вязкость $h_{эф}$, если напряжение сдвига $q = 1000$ Па, а скорость сдвига $\dot{\gamma} = 2,0$ с⁻¹.

5. На рисунке показан фрагмент реограммы. Определить тип жидкости по реологической классификации и найти эффективную вязкость при скорости сдвига $\dot{\gamma} = 20 \text{ с}^{-1}$.



8.2. Перечень вопросов для самостоятельной работы

1. Причины аномалии вязкости. Активационные (Эйринг), структурные (Грессли) и гидродинамические теории.
2. Эмпирические зависимости (степенной закон, модели Карро, Эллиса, Бингама). Нормальные напряжения, их причины и проявление.
3. Температурная зависимость вязкости.
4. Теория Эйринга, теория свободного объёма, уравнение ВЛФ.
5. Обобщённая температурно-инвариантная характеристика вязкостных свойств расплавов полимеров.
6. Принцип температурно-частотной суперпозиции.
7. Зависимость вязкости от давления.
8. Зависимость вязкости от молекулярной массы полимера и степени его разветвлённости.

9. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

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