

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
высокомолекулярных соединений и коллоидной химии  
Шестаков А.С.  
11.05.2022



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.05.01 Физико-химическая механика**

- 1. Код и наименование направления подготовки:**  
04.03.01 Химия
- 2. Профиль:** прикладная химия
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**  
кафедра высокомолекулярных соединений и коллоидной химии
- 6. Составители программы:**  
Слепцова Ольга Валентиновна, кандидат химических наук, доцент
- 7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета,  
протокол № 3 от 19.06.2022
- 8. Учебный год:** 2025-2026                      **Семестр:** 8

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- формирование представлений о зависимости структурно-механических свойств дисперсных систем и материалов от физико-химических явлений на поверхностях раздела фаз.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучение процессов структурообразования в дисперсных системах;
- изучение идеальных законов реологии и комбинаций простейших реологических моделей, описывающих механическое поведение тел,
- изучение реологических свойств дисперсных систем,
- освоение теоретических основ управления структурно-механическими свойствами материалов,
- приобретение навыков использования теоретических положений для решения практических задач.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** дисциплина входит в Блок 1. Дисциплины (модули), в часть, формируемую участниками образовательных отношений, является дисциплиной (модулем) по выбору 5 (ДВ.5). Обучающийся для изучения дисциплины должен освоить курсы физики, неорганической, физической и коллоидной химии.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПКВ-1	Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации	ПКВ-1.1	Обеспечивает сбор научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач исследования, поставленных специалистом более высокой квалификации	Знать: - источники научно-технической информации, журналы отечественной и международной научной периодики, основы поиска патентной информации. Уметь: - осуществлять поиск научно-технической информации с использованием ресурсов сети Интернет, баз данных; оформлять отчет о результатах поиска информации. Владеть: - приемами поиска научно-технической информации и методами составления отчетов о результатах поиска; - навыками проведения химического эксперимента и оформления его результатов; - навыками планирования, анализа и обобщения результатов эксперимента.
		ПКВ-1.2	Составляет аналитический обзор литературных источников по заданной тематике, оформляет отчеты о выполнении научно-исследовательских задач по заданной форме	

ПКВ-2	Способен проектировать и осуществлять направленный синтез химических соединений с заданным набором свойств в рамках поставленной задачи	ПКВ-2.1	Способен проектировать направленный синтез химических соединений с заданным набором свойств в рамках поставленной задачи	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- логику распространения метода механического описания свойств дисперсных систем и материалов применительно к системам с адсорбционно-активными средами;</li> <li>- взаимосвязь структурообразования в дисперсных системах с их физико-химическими свойствами для выявления прикладных свойств синтезируемых веществ и материалов.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>применять на практике современные реологические методы исследования.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками использования основ физико-химической механики для прогнозирования структурно-механических свойств различных дисперсных систем;</li> <li>- способами управления структурно-механическими свойствами материалов.</li> </ul>
		ПКВ-2.2	Способен осуществлять направленный синтез химических соединений по заданию специалиста более высокой квалификации	
		ПКВ-2.3	Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИОКР	
		ПКВ-2.4	Готовит объекты исследования	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах – 3/108.**

**Форма промежуточной аттестации** зачет.

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			8 семестр		
Контактная работа		72	72		
в том числе:	лекции	36	36		
	практические	36	36		
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		36	36		
Промежуточная аттестация (для экзамена)					
Итого:		108	108		

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Структурообразование в дисперсных системах	Формирование структур в различных дисперсных системах (наносистемах) как частный случай коагуляции. Коагуляционно-тиксотропные и конденсационно-кристаллизационные структуры; взаимные переходы. Теория структурообразования – основа получения новых материалов. Типы и прочность контактов между частицами в структурированных дисперсных системах. Методы регулирования структурно-механических свойств дисперсных систем на различных стадиях их формирования.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
1.2	Реологический метод исследования дисперсных систем	Основные понятия реологии. простейшие реологические модели (Гаука, Сен-Венана—Кулона, Ньютона). Комбинированные реологические модели (Кельвина, Максвелла, Бингама). Принципы моделирования реологических свойств тел. Упруговязкое, вязкоупругое, вязкопластическое тела. Время релаксации напряжения и деформации.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
1.3	Классификация дисперсных систем по структурно-механическим свойствам	Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Псевдопластические и дилатантные жидкости. Тиксотропия и реопексия. Бингамовские и небингамовские твердообразные тела. Методы измерения вязкости. Вязкость жидких агрегативно устойчивых дисперсных систем. Уравнение Эйнштейна. Уравнения Марка-Куна-Хаувинка и Хаггинса для растворов полимеров.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
1.4	Реологические свойства структурированных жидкообразных и твердообразных систем	Реологические свойства структурированных жидкообразных и твердообразных систем. Типичные кривые течения. Характеристики прочности структуры. Зависимость вязкости от напряжения сдвига. Полная реологическая кривая.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
1.5	Физико-химические явления в процессах деформации и разрушения твердых тел	Прочность идеальных и реальных твердых тел. Роль дефектов структуры в процессе разрушения. Влияние природы жидкой фазы на прочность и пластичность твердых тел – эффект Ребиндера. Теория Гриффитса, условие самопроизвольного распространения трещин. Влияние химической природы твердого тела и среды на проявление адсорбционного понижения прочности. Основные формы проявления эффекта: понижение прочности и облегчение пластического деформирования твердого тела. Практическое использование эффекта Ребиндера.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Структурообразование в дисперсных системах	Коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные структуры. Типы контактов между частицами в структурированных дисперсных системах.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
2.2	Реологический метод исследования дисперсных систем	Принципы моделирования реологических свойств тел.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
2.3	Классификация дисперсных систем по структурно-механическим свойствам	Классификация дисперсных систем по структурно-механическим свойствам	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>

2.4	Реологические свойства структурированных жидкообразных и твердообразных систем	Реологические свойства структурированных жидкообразных и твердообразных систем	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
2.5	Физико-химические явления в процессах деформации и разрушения твердых тел	Эффект Ребиндера. Теория Гриффитса,	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Структурообразование в дисперсных системах	6	4		8	18
2	Реологический метод исследования дисперсных систем	8	8		8	24
3	Классификация дисперсных систем по структурно-механическим свойствам	8	8		8	24
4	Реологические свойства структурированных жидкообразных и твердообразных систем	8	8		8	24
5	Физико-химические явления в процессах деформации и разрушения твердых тел	6	8		4	18
	Итого:	36	36		36	108

### 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)*

В учебном процессе используются следующие формы работы:

- проведение лекций,
- проведение практических занятий,
- внеаудиторная самостоятельная работа студентов.

Организационная структура лекционного занятия:

1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса.
2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы.
3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах.
4. Заключение, формулировка выводов.
5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

Организационная структура практического занятия:

1. Формулировка целей занятия и ответы на вопросы студентов.
2. Ознакомление с теоретической основой занятия. Устный опрос.
3. Решение практических заданий.
4. Самостоятельное выполнение тестовых заданий, решение задач с целью выявления уровня освоения материала по тематике занятия.

Текущий контроль проводится путем проверки выполнения домашнего задания, тестовых заданий, контрольных работ.

Контроль освоения теоретического материала проводится после прослушивания студентами лекционного материала по каждой теме в виде устного опроса и выполнения домашних заданий. Выполнение домашних заданий контролирует лектор. Ежеженедельно студенты имеют возможность выяснять все вопросы, освоение которых вызывает трудности, на консультациях с лектором в специально отведенные для этого контактные часы.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Щукин Е.Д. Коллоидная химия / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. – М.: Юрайт, 2017. – 443 с.
2	Кирсанов Е.А. Неньютоновское поведение структурированных систем / Е.А. Кирсанов, В.Н. Матвеевко. – Москва: Техносфера, 2017. – 383 с.
3	Урьев Н.Б. Физико-химическая динамика дисперсных систем и материалов. Фундаментальные аспекты, технологические приложения / Н.Б. Урьев. – Долгопрудный: Интеллект, 2013. – 231 с.
4	Прокофьев В.Ю. Основы физико-химической механики экструдированных катализаторов и сорбентов / В.Ю. Прокофьев, П.Б. Разговоров, А.П. Ильин. – Москва: КРАСАНД, 2013. – 314 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Зимон А.Д. Коллоидная химия (в том числе наночастиц) / А.Д. Зимон. – М.: АГАР, 2007. – 343 с.
6	Гельфман М.И. Коллоидная химия / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов. – СПб. [и др.]: Лань, 2010. – 332 с.
7	Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии / Д.А. Фридрихсберг. – СПб. [и др.]: Лань, 2010. – 410 с.
8	Гноевой А.В. Основы теории течений бингамовских сред / А.В. Гноевой, Д.М. Климов, В.М. Чесноков. – М.: Физматлит, 2004. – 272 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет):

№ п/п	Ресурс
9	УЭМК «Физико-химическая механика» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9870</a>
10	Зональная научная библиотека ВГУ <a href="https://www.lib.vsu.ru">https://www.lib.vsu.ru</a>
11	Университетская библиотека online <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a>
12	Естественно-научный образовательный портал <a href="http://www.en.edu.ru">http://www.en.edu.ru</a>

13	Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам». <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
14	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a>
15	Chemnet – официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Internet <a href="http://www.chem.msu.ru/rus">http://www.chem.msu.ru/rus</a>
16	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" <a href="http://www.studmedlib.ru">http://www.studmedlib.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.)

№ п/п	Источник
1	Коллоидная химия. Примеры и задачи : учебное пособие для вузов / В.Ф. Марков [и др.] ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б.Н. Ельцина .– Москва ; Екатеринбург : Юрайт : Издательство Уральского университета, 2018. – 185 с.
2	Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Ю.Г. Фролов, А.С. Гродский, В.В. Назаров и др. ; под ред. Ю.Г. Фролова и А.С. Гродского. – М.: Химия, 1986. – 214 с.

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

При реализации дисциплины используются классические образовательные технологии без замены аудиторных занятий (лекций и практических занятий) на ДОТ. Основные типы лекций – вводные лекции (в начале изучения дисциплины) и информационные лекции с визуализацией (мультимедийные презентации). Проведение промежуточной аттестации осуществляется в форме устного собеседования по КИМ. Самостоятельная работа по всем разделам предполагает выполнение обязательных письменных домашних заданий.

При реализации учебной дисциплины используются элементы электронного обучения и различные дистанционные образовательные технологии, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций (в том числе с применением сервисов Zoom, Discord и др.), взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров.

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

1. Ноутбук
2. Проектор
3. Экран

**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	Структурообразование в дисперсных системах	ПКВ-1 ПКВ-2	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.2	Домашние задания Тестовые задания

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
2	Реологический метод исследования дисперсных систем	ПКВ-1 ПКВ-2	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.2	Домашние задания Практико-ориентированные задания Тестовые задания
3	Классификация дисперсных систем по структурно-механическим свойствам	ПКВ-1 ПКВ-2	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.3	Домашние задания Тестовые задания
4	Реологические свойства структурированных жидкообразных и твердообразных систем	ПКВ-1 ПКВ-2	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.1 ПКВ-2.3	Домашние задания Практико-ориентированные задания Тестовые задания
5	Физико-химические явления в процессах деформации и разрушения твердых тел	ПКВ-1 ПКВ-2	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2 ПКВ-2.3 ПКВ-2.4	Домашние задания Практико-ориентированные задания Тестовые задания
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Перечень вопросов

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устный опрос (индивидуальный опрос); выполнение письменных домашних и практико-ориентированных заданий, выполнение тестовых заданий.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены в п. 20.2.

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: практико-ориентированные задания, домашние задания, тестовые задания, устный опрос.

Вопросы для домашнего задания формулируются на практическом занятии. На следующем практическом занятии студенты представляют решение домашнего задания, занятие начинается с обсуждения вариантов решения.

Устные опросы и тестирования проводятся на практическом занятии, о чем преподаватель заранее сообщает обучающимся.

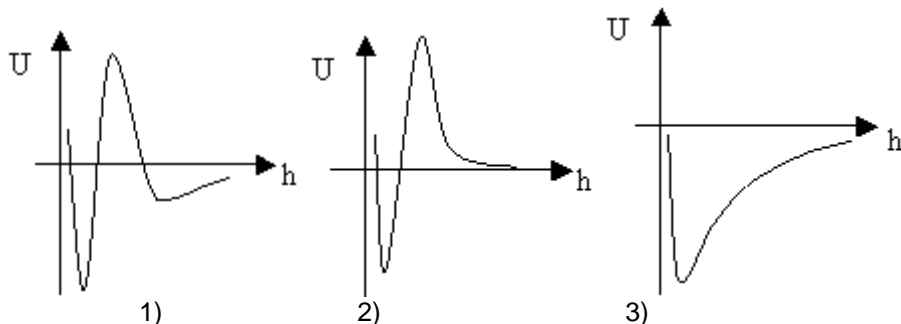


Перечень тем практических занятий:

1. Структурообразование в дисперсных системах.
2. Реологический метод исследования дисперсных систем.
3. Классификация дисперсных систем по структурно-механическим свойствам.
4. Реологические свойства структурированных жидкообразных и твердообразных систем.
5. Физико-химические явления в процессах деформации и разрушения твердых тел.

Пример тестового задания

1. К реологическим свойствам относятся
  - 1) прочность
  - 2) плотность
  - 3) вязкость
  - 4) пластичность
  - 5) электропроводность
  - 6) теплоемкость
  - 7) упругость
2. При образовании конденсационно-кристаллизационных структур в дисперсных системах между частицами возникают
  - 1) коагуляционные контакты через прослойку жидкости
  - 2) фазовые контакты
  - 3) контакты отсутствуют
  - 4) атомные контакты
3. Коагуляционные структуры образуются при
  - 1) коагуляции частиц в первичном потенциальном минимуме
  - 2) образовании пространственной сетки в результате взаимофиксации частиц через прослойки дисперсионной среды
  - 3) возникновении пространственной сетки в результате непосредственного фазового контакта между частицами и образования химических связей
4. Потенциальная кривая взаимодействия частиц, соответствующая структуре, обладающей тиксотропией



5. Идеально упругое тело моделируется
  - 1) идеально упругой пружиной
  - 2) движением перфорированного поршня в цилиндре, заполненном жидкостью
  - 3) твердым телом, скользящим по поверхности
6. Модель Бингама описывает реологические свойства ... тел
  - 1) вязких
  - 2) упругих
  - 3) пластических
  - 4) вязкопластических
  - 5) упруговязких
7. Поведение упруговязкого тела Максвелла описывается уравнением

1)  $\tau = G \cdot \gamma$

2)  $\tau = k \frac{d\gamma}{dt}$

$$3) \tau = k \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^n$$

$$4) \tau = \tau_0 e^{-t/t_p}$$

$$5) \tau = \tau^* + \eta \frac{d\gamma}{dt}$$

8. Твердое тело ведет себя как упругое твердое тело при следующем соотношении между временем приложения напряжения  $t$  и временем релаксации напряжения  $t_p$ :

- 1)  $t > t_p$
- 2)  $t = t_p$
- 3)  $t \ll t_p$

9. Дилатантными жидкостями являются

- 1) разбавленные агрегативно устойчивые дисперсные системы
- 2) разбавленные растворы полимеров
- 3) высококонцентрированные агрегативно устойчивые дисперсные системы

10. Ньютоновскими жидкостями являются дисперсные системы

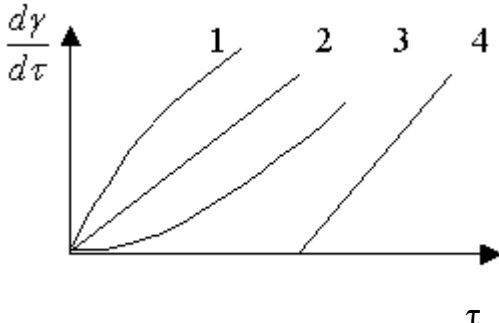
- 1) с невысокой вязкостью
- 2) вязкость которых зависит от времени действия напряжения сдвига
- 3) вязкость которых не зависит от напряжения (скорости деформации) и от времени их действия
- 4) вязкость которых линейно уменьшается при увеличении температуры

11. Показатель  $n$  в уравнении Оствальда – Вейля  $\tau = k \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^n$  для дилатантных жидкостей принимает

значения

- 1)  $n < 1$
- 2)  $n = 1$
- 3)  $n > 1$

12. Номер кривой течения псевдопластической жидкости



13. Уравнение Марка – Куна – Хаувинка для вязкости растворов полимеров

- 1)  $\eta = \eta_0(1 + k\phi)$
- 2)  $\eta_{прив} = K_M M$
- 3)  $\eta_{уд}/c = [\eta] + K'[\eta]^2 c + \dots$
- 4)  $\eta_{уд}/c = [\eta] \exp(K_M [\eta] c)$
- 5)  $[\eta] = KM^\alpha$

14. Уравнение Эйнштейна для вязкости дисперсных систем

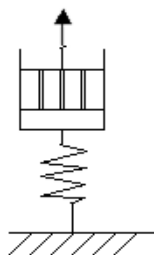
- 1)  $\eta_{уд} = KM^c$
- 2)  $\eta = \eta_0(1 + k\phi)$
- 3)  $\eta_{уд}/c = [\eta] \exp(K_M [\eta] c)$
- 4)  $[\eta] = KM^\alpha$
- 5)  $\eta_{уд}/c = [\eta] + K[\eta]^2 c + \dots$

15. Псевдопластичность – это явление

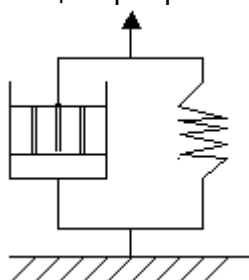
- 1) уменьшения вязкости при увеличении напряжения сдвига (скорости сдвига)
- 2) возрастания вязкости дисперсной системы при увеличении прикладываемого к ней механического напряжения
- 3) уменьшения вязкости с течением времени при постоянной скорости сдвига

### Пример домашнего задания

1. В представленной на рисунке механической модели, находящейся при постоянной деформации заданы: модуль упругости  $G = 10$  кПа, начальное напряжение  $\tau_0 = 50$  кПа, конечное напряжение через 5 с  $\tau = 18,4$  кПа. Определить вязкость  $\eta$ .



2. В представленной на рисунке механической модели, находящейся при постоянном напряжении заданы: модуль упругости  $G = 10$  кПа, вязкость  $\eta = 30$  кПа·с, напряжение  $\tau = 80$  кПа. Определить относительную деформацию  $\gamma$  через 4 с после приложения напряжения.



### Пример практико-ориентированного задания

1. Определите вязкость гидрозоля оксигидроксида лантана  $\text{LaOOH}$ , если концентрация дисперсной фазы составляет 2 % (масс.). Частицы имеют сферическую форму, их плотность составляет  $5,7 \text{ г/см}^3$ . Плотность воды примите равной  $1,0 \text{ г/см}^3$ .

2. Рассчитайте толщину гидратных оболочек частиц гидрозоля  $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$  (соотношение 4:1), если экспериментально установлено, что вязкость 2,5 % (масс.) золя составляет  $1,03 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Плотность сферических частиц дисперсной фазы составляет  $7,0 \text{ г/см}^3$ , плотность дисперсионной среды  $1,0 \text{ г/см}^3$ . Размер частиц примите равным 10 нм, вязкость дисперсионной среды  $1,0 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ .

3. Какова молекулярная масса натурального каучука, если при его растворении в бензоле характеристическая вязкость  $[\eta]$  оказалось равной  $0,126 \text{ м}^3/\text{кг}$ , константы уравнения Марка-Куна-Хаувинка  $K = 5 \cdot 10^{-5}$  и  $\alpha = 0,67$ ?

## **20.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: собеседование по билетам к зачету.

### Вопросы к зачету:

1. Представления о реологии дисперсных систем.
2. Дисперсные системы. Избыточная поверхностная энергия. Понятие об адсорбции.
3. Классификация дисперсных систем.
4. Устойчивость дисперсных систем. Теория ДЛФО.
5. Дисперсные системы связнодисперсные и свободнодисперсные. Виды контактов между частицами. Структуры в дисперсных системах. Понятие о тиксотропии.
6. Основные понятия реологии, аксиомы реологии.
7. Идеальные законы реологии Гука, Ньютона, Сен-Венана – Кулона.
8. Сложные реологические модели Максвелла, Кельвина, Бингама.

9. Классификация систем по реологическим свойствам. Псевдопластичность, дилатантность, тиксотропия, реопексия.
10. Реологические кривые жидкообразных и твердообразных тел.
11. Вязкость свобододисперсных систем. Вязкость связнодисперсных систем. Полная реологическая кривая жидкообразных систем. Реологические кривые твердообразных систем.
12. Основы теории вязкости Эйнштейна. Уравнения Эйнштейна, Ванда, Куна, Смолуховского.
13. Вязкость растворов ВМС. Уравнения Хаггинса и Марка-Куна-Хаувинка.
14. Реометрия. Методы вискозиметрии. Законы Пуазейля и Стокса.
15. Эффект Ребиндера. Области его приложения.
16. Влияние химической природы твердого тела на адсорбционное понижение прочности. Соотношения Гриффитса.
17. Роль реальной структуры твердого тела и внешних условий в адсорбционном понижении прочности.

При проведении промежуточной аттестации может быть реализовано тестирование по следующим вопросам для формирования соответствующих компетенций.

**ПКВ-1. Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции.**

**Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:**

1. К реологическим свойствам относятся
  - 1) прочность
  - 2) плотность
  - 3) вязкость
  - 4) пластичность
  - 5) электропроводность
  - 6) теплоемкость
  - 7) упругостьПравильный ответ 1), 3), 4), 7)
2. Изменение под действием внешних сил формы и объема тела, при котором частицы или молекулы смещаются относительно друг друга без нарушения сплошности тела, называется ...
  - 1) пластичностью
  - 2) текучестью
  - 3) прочностью
  - 4) деформациейПравильный ответ 4)
3. Способность тела при деформации полностью восстанавливать свою первоначальную форму называется ...
  - 1) упругостью
  - 2) пластичностью
  - 3) твердостью
  - 4) прочностьюПравильный ответ 1)
4. В каких единицах измеряют вязкость в системе СИ?
  - 1) Паскаль·секунда
  - 2) пуаз
  - 3) сантипуаз
  - 4) ПаскальПравильный ответ 1)

5. Единица измерения напряжения сдвига  
1) Н  
2)  $m^2$   
3) Н/с  
4)  $N/m^2$   
Правильный ответ 4)
6. По какому признаку классифицируют дисперсные системы на связнодисперсные и свободнодисперсные?  
1) по степени дисперсности  
2) по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды  
3) по взаимодействию частиц дисперсной фазы  
4) по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды  
Правильный ответ 3)
7. При образовании конденсационно-кристаллизационных структур в дисперсных системах между частицами возникают  
1) коагуляционные контакты через прослойку жидкости  
2) фазовые контакты  
3) контакты отсутствуют  
4) атомные контакты  
Правильный ответ 2)
8. При образовании коагуляционных структур в дисперсных системах между частицами возникают  
1) контакты через прослойку жидкости  
2) фазовые контакты  
3) контакты отсутствуют  
Правильный ответ 1)
9. Коагуляционные структуры образуются при  
1) коагуляции частиц в первом потенциальном минимуме  
2) образовании пространственной сетки в результате взаимофиксации частиц через прослойки дисперсионной среды  
3) возникновении пространственной сетки в результате непосредственного фазового контакта между частицами и образования химических связей  
Правильный ответ 2)
10. Кристаллизационно-конденсационные структуры образуются при  
1) коагуляции частиц во втором потенциальном минимуме  
2) образовании пространственной сетки в результате взаимофиксации частиц через прослойки дисперсионной среды  
3) возникновении пространственной сетки в результате непосредственного фазового контакта между частицами и образования химических связей  
Правильный ответ 3)

**ПКВ-2. Способен выбирать технические средства и методы испытаний объектов неорганической химии для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации.**

**Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:**

1. Модель Сен-Венана-Кулона описывает реологические свойства идеальных ... тел  
1) вязких  
2) упругих  
3) пластических  
4) вязкопластических  
Правильный ответ 3)
2. Модель Гука описывает реологические свойства идеальных ... тел  
1) вязких  
2) упругих

- 3) пластических
  - 4) упруговязких
- Правильный ответ 2)

3. Модель Ньютона описывает реологические свойства идеальных ... тел
- 1) вязких
  - 2) упругих
  - 3) пластических
  - 4) вязкопластических
- Правильный ответ 1).
4. Модель Бингама описывает реологические свойства ... тел
- 1) вязкоупругих
  - 2) пластических
  - 3) вязкопластических
  - 4) упруговязких
- Правильный ответ 3)
5. Модель Максвелла описывает реологические свойства ... тел
- 1) вязкоупругих
  - 2) пластических
  - 3) упруговязких
  - 4) вязкопластических
- Правильный ответ 3)
6. Модель Кельвина описывает реологические свойства ... тел
- 1) упруговязких
  - 2) вязкоупругих
  - 3) пластических
  - 4) вязкопластических
- Правильный ответ 2)
7. Идеально упругое тело Гука моделируется
- 1) идеально упругой пружиной
  - 2) движением перфорированного поршня в цилиндре, заполненном жидкостью
  - 3) твердым телом, скользящим по поверхности
- Правильный ответ 1)
8. Идеально вязкое тело Ньютона моделируется
- 1) идеально упругой пружиной
  - 2) движением перфорированного поршня в цилиндре, заполненном жидкостью
  - 3) твердым телом, скользящим по поверхности
- Правильный ответ 2)
9. Идеально пластическое тело Сен-Венана-Кулона моделируется
- 1) идеально упругой пружиной
  - 2) движением перфорированного поршня в цилиндре, заполненном жидкостью
  - 3) твердым телом, скользящим по поверхности
- Правильный ответ 3)
10. Упруговязкое тело Максвелла моделируется
- 1) идеально упругой пружиной
  - 2) движением перфорированного поршня в цилиндре, заполненном жидкостью
  - 3) твердым телом, скользящим по поверхности
  - 4) последовательным соединением поршня в жидкости и пружины
- Правильный ответ 4)
11. Тиксотропия – это явление
- 1) возрастания вязкости дисперсной системы при увеличении прикладываемого к ней механического напряжения
  - 2) уменьшения вязкости с течением времени при постоянной скорости сдвига
  - 3) увеличения прочности структуры дисперсной системы при действии на нее механического напряжения

Правильный ответ 2)

12. Псевдопластичность – это явление

- 1) уменьшения вязкости при увеличении напряжения сдвига (скорости сдвига)
  - 2) возрастания вязкости дисперсной системы при увеличении прикладываемого к ней механического напряжения
  - 3) уменьшения вязкости с течением времени при постоянной скорости сдвига
- Правильный ответ 1)

13. Дилатантность - это явление

- 1) снижения вязкости дисперсной системы при увеличении приложенного напряжения сдвига
  - 2) повышения вязкости дисперсной системы с ростом приложенного напряжения сдвига (скорости сдвига)
  - 3) повышения вязкости дисперсной системы при постоянной скорости сдвига с течением времени
- Правильный ответ 2)

14. Свойствами ньютоновской жидкости обладают

- 1) концентрированные дисперсные системы с частицами анизометричной формы
  - 2) разбавленные агрегативно устойчивые золи с частицами сферической формы
  - 3) разбавленные агрегативно устойчивые дисперсные системы с частицами анизометричной формы
  - 4) структурированные жидкообразные дисперсные системы
- Правильный ответ 2)

15. Ньютоновскими жидкостями являются дисперсные системы с невысокой вязкостью

- 1) вязкость которых зависит от времени действия напряжения сдвига
  - 2) вязкость которых не зависит от напряжения (скорости деформации) и от времени их действия
  - 3) вязкость которых линейно уменьшается при увеличении температуры
- Правильный ответ 2)

По окончании семестра проводится промежуточная аттестация в форме зачета. К зачету обучающиеся получают перечень вопросов, из которых формируются КИМ по предмету.

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели:

- 1) знание роли физико-химических явлений на границе раздела фаз в структурно-механических свойствах дисперсных систем;
- 2) знание реологического метода для идеализированного описания механического поведения дисперсных систем и умение моделировать механическое поведение материалов с помощью простейших реологических моделей и их комбинаций;
- 3) владение навыками использования основ физико-химической механики для прогнозирования структурно-механических свойств различных дисперсных систем; способами управления структурно-механическими свойствами материалов.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется - зачтено, не зачтено.

При реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий оценка за зачет/экзамен может быть выставлена по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре.

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Продемонстрировано всестороннее и глубокое знание теоретических основ структурообразования в дисперсных системах, законов реологии; структурно-механических свойств дисперсных систем, физико-химических явлений в процессах деформации и разрушения твердых тел.	Повышенный уровень	Зачтено

<p>Обучающийся владеет теоретическими основами структурообразования в дисперсных системах, дает обоснованный и аргументированный ответ на поставленные вопросы. Содержатся не принципиальных ошибки и неточности, которые должны быть исправлены в соответствии с замечаниями и вопросами экзаменатора.</p>	<p>Базовый уровень</p>	<p>Зачтено</p>
<p>Обучающийся демонстрирует частичные знания основ структурообразования в дисперсных системах и способов управления их структурно-механическими свойствами.</p>	<p>Пороговый уровень</p>	<p>Зачтено</p>
<p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует перечисленным показателям. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки. Допущенные ошибки в изложении материала не в состоянии исправить в соответствии с замечаниями и наводящими вопросами преподавателя.</p>	<p>–</p>	<p>Не зачтено</p>



## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление/специальность 04.03.01 Химия

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.01 Физико-химическая механика

Профиль подготовки/специализация прикладная химия

Форма обучения очная

Учебный год 2026-2027

---

---

Ответственный исполнитель

доц. КВМСиКХ \_\_\_\_\_ /О.В. Слепцова/ \_\_\_\_ 20\_\_

СОГЛАСОВАНО

Куратор ООП

по направлению/специальности \_\_\_\_\_ /Х.С. Шихалиев/ \_\_\_\_ 20\_\_

Начальник отдела обслуживания ЗНБ \_\_\_\_\_ /Н.В. Белодедова/ \_\_\_\_ 20\_\_

---

---

Программа рекомендована НМС химического факультета

протокол № 4 от 25.04.2023