

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.  
30.04.2020



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФТД.В.01 Реология дисперсных систем**

- 1. Код и наименование направления подготовки:**  
04.03.01 Химия
- 2. Профиль подготовки:** 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 19.03.2020
- 8. Учебный год:** 2022-2023                      **Семестр:** 7

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- дать обучающемуся представление о реологии – науке о деформации и течении тел, которая является теоретической основой синтеза разнообразных материалов с применением дисперсных систем.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучение идеальных законов реологии и комбинаций простейших реологических моделей;

- изучение реологических свойств дисперсных систем;

- освоение теоретических основ вязкости дисперсных систем и методов ее определения;

- приобретение навыков использования теоретических положений и методов реологии для решения практических задач исследования структуры и описания структурно-механических свойств дисперсных систем.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** дисциплина входит в ФТД. Факультативы, в часть, формируемую участниками образовательных отношений. Обучающийся для изучения дисциплины должен освоить курсы физики, неорганической, физической и коллоидной химии, химической технологии.

**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	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах – 2/72.**

**Форма промежуточной аттестации**

зачет.

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

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

#### 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	Понятие о реологии дисперсных систем. Структуры в дисперсных системах.	Понятия о реологии, течении, деформации, напряжении. Структура дисперсных систем коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные. Фазовые и коагуляционные контакты. Тиксотропия.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306</a>
1.2	Идеальные законы реологии, комбинации простейших реологических моделей.	Модели механического поведения - упругого, вязкого и пластического. Законы Гука, Ньютона и Кулона. Модели Максвелла, Кельвина, Бингама.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306</a>
1.3	Реологические свойства дисперсных систем. Классификация дисперсных систем по реологическим свойствам.	Структурно-механические свойства – вязкость, пластичность, упругость, прочность. Ньютоновские и бингамовские системы, пластические, псевдопластические и дилатантные дисперсные системы. Тиксотропия, реопексия.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306</a>
1.4	Теоретические основы вязкости дисперсных систем.	Теория Эйнштейна, уравнения Ванда, Куна, Смолуховского. Вязкость растворов ВМС. Влияние температуры на вязкость.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306</a>
1.5	Реометрия. Вискозиметрия. Методы определения упругости.	Методы вискозиметрии: капиллярный, падающего шара, ротационный. Законы Пуазейля, Стокса и закон течения жидкости между соосными цилиндрами. Методы определения упругости.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306</a>
1.6	Микрореология структурированных дисперсных систем	Направления микрореологии, теории течения упруго-вязких ньютоновских и неньютоновских систем.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306</a>

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Понятие о реологии дисперсных систем. Структуры в дисперсных системах.	6			6	12
2	Идеальные законы реологии, комбинации простейших реологических моделей.	6			6	12
3	Реологические свойства дисперсных систем. Классификация дисперсных систем по реологическим свойствам.	6			6	12
4	Теоретические основы вязкости дисперсных систем.	6			6	12
5	Реометрия. Вискозиметрия. Методы определения упругости.	6			6	12
6	Микрореология структурированных дисперсных систем	6			6	12
	Итого:	36			36	72

### 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,
- 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.

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 путем 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 «Реология дисперсных систем» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4306</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 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	Понятие о реологии дисперсных систем. Структуры в дисперсных системах.	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Домашние задания
2	Идеальные законы реологии, комбинации простейших реологических моделей.	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Домашние задания Тестовые задания
3	Реологические свойства дисперсных систем. Классификация дисперсных систем по реологическим свойствам.	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Домашние задания
4	Теоретические основы вязкости дисперсных систем.	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Домашние задания Тестовые задания
5	Реометрия. Вискозиметрия. Методы определения упругости.	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Домашние задания Тестовые задания

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
6	Микрореология структурированных дисперсных систем	ПКВ-1	ПКВ-1.1 ПКВ-1.2	Домашние 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: выполнение письменных домашних 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: домашние задания, тестовые задания.

Вопросы для домашнего задания формулируются на лекционном занятии. На следующем лекционном занятии студенты представляют решение домашнего задания.

#### 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. Идеально упругое тело моделируется
  - 1) идеально упругой пружиной
  - 2) движением перфорированного поршня в цилиндре, заполненном жидкостью

- 3) твердым телом, скользящим по поверхности
5. Модель Бингама описывает реологические свойства ... тел
- 1) вязких
  - 2) упругих
  - 3) пластических
  - 4) вязкопластических
  - 5) упруговязких
6. 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)  $\tau = \tau^* + \eta \frac{d\gamma}{dt}$

7. 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)  $t \ll t_p$

8. Дилатантными жидкостями являются

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

9. Ньютоновскими жидкостями являются дисперсные системы

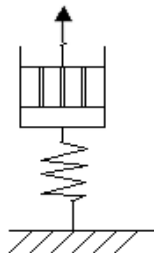
- 1) с невысокой вязкостью
- 2) вязкость которых зависит от времени действия напряжения сдвига
- 3) вязкость которых не зависит от напряжения (скорости деформации) и от времени их действия
- 4) вязкость которых линейно уменьшается при увеличении температуры

10. Уравнение Эйнштейна для вязкости дисперсных систем

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

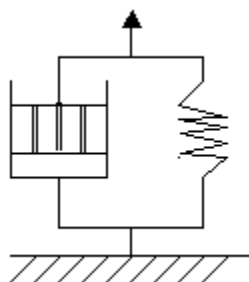
#### Пример домашнего задания

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.





## 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. Реологические кривые жидкообразных и твердообразных тел.
10. Основы теории вязкости Эйнштейна. Уравнения Эйнштейна, Ванда, Куна, Смолуховского.
11. Вязкость растворов ВМС. Уравнения Штаудингера и Марка-Куна-Хаувинка.
12. Реометрия. Методы вискозиметрии. Законы Пуазейля и Стокса.

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели:

- 1) знание базовой терминологии, относящейся к реологии 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 реологическим методом для идеализированного описания механического поведения дисперсных систем.

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 физико-химической механики, 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 владеет частично теоретическими основами физико-химической механики, демонстрирует частичные знания основ структурообразования в дисперсных системах и способов управления 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>