

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра химии

**Методические указания
к практическим работам**

Дисциплина Б1.В.03.04 Реология дисперсных систем
код и наименование дисциплины

Направление подготовки 04.04.01 Химия
код и наименование направления подготовки / специальности

Направленность / специализация Физическая и коллоидная химия
наименование направленности (профиля) / специализации образовательной программы

Квалификация
выпускника Магистр
указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО

Кафедра-разработчик Химия
название кафедры-разработчика рабочей программы

Мурманск
2019

Составитель – Деркач Светлана Ростиславовна доктор химических наук профессор

Методические указания к практическим работам рассмотрены и одобрены на заседании кафедры-разработчика

Химия

название кафедры

24.06.2019 г. протокол № 12.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Цель изучения дисциплины:

подготовка магистров в соответствии с квалификационной характеристикой магистра и учебным планом подготовки магистров 04.04.01 Химия профиль Физическая и коллоидная химия

Задачи дисциплины:

дать необходимые знания по основам современной реологии, начиная от теоретического базиса и экспериментальных методов вплоть до описания комплекса типичных результатов измерений и основных направлений применения реологии в промышленности

В результате изучения дисциплины магистр должен:

Знать:

- основные разделы реологии;
- основные реологические понятия и методы анализа веществ, их сущность и области применения; основные метрологические характеристики методов анализа, необходимом для профессиональной деятельности;

Уметь:

- самостоятельно выбирать реологический метод исследования для конкретной системы;
- использовать современные методы исследования и реологическую технику;
- проводить анализ возможных артефактов и избегать недочетов при проведении реологических измерений

Владеть:

- планированием и проведением эксперимента;
- проведением анализа полученных результатов;
- сопоставления данных реометрии со структурными особенностями материалов;

Содержание разделов дисциплины:

Основные понятия реометрии, вязкоупругость, реология жидкостей, упругие материалы, экспериментальные методы реометрии

Реализуемые компетенции:

ПК-1-н; ПК-3-н

Формы промежуточной аттестации:

Очная форма обучения: Курс 1, Семестр 2 – экзамен

Планируемые результаты обучения

Код и содержание компетенции	Степень реализации компетенции	Этапы формирования компетенции; Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части
ПК-1-н. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с	Компетенция реализуется частично в части «Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии или смежных с химией науках»	<i>Знать:</i> <ul style="list-style-type: none">– основные разделы реологии дисперсных систем; основные понятия и методы анализа веществ, их сущность и области применения;– основные метрологические характеристики методов, необходимые для профессиональной деятельности– основные реологические методы анализа материалов, их сущность и области применения. <i>Уметь:</i> <ul style="list-style-type: none">– использовать реологические методы как инструмент профессиональной деятельности;– использовать современные реологические методы анализа для решения профессиональных задач

<p>химией наук</p>		<ul style="list-style-type: none"> – проводить расчеты реологических параметров различных сред <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками выполнения реологических лабораторных операций; методами определения реологических характеристик в различных средах – навыками решения типовых задач реологии; планирования и постановки эксперимента и обработки результатов – основными реологическими характеристиками различных дисперсных систем, сред и материалов, необходимыми для профессиональной деятельности <p>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</p> <p>ПК-1-н-1. Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий</p> <p>ПК-1-н-2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов</p>
<p>ПК-3-н. Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках</p>	<p>Компетенция реализуется частично в части «Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их практического применения»</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – основные реологические методы сдвиговой реологии для анализа упруго-вязко-пластичных сред и материалов, их сущность и области применения <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – использовать основные реологические методы анализа, применяемые в научных реологических и аналитических лабораториях и на производстве <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – основными реологическими приемами и навыками измерения характеристик различных дисперсных систем, сред и материалов, необходимыми для профессиональной деятельности; – основными приемами обработки полученных результатов и метрологической оценки – основными навыками постановки НИР <p>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</p> <p>ПК-3-н-1. Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными</p> <p>ПК-3-н-2. Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов</p>

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН
Практические работы

Содержание тем дисциплины	Кол-во часов	
	Очная	Заочная
1. Модуль 3. Вязкоупругость	6	
3.1. Ползучесть (запаздывающая деформация), <i>релаксация</i> . Определения спектров релаксации и запаздывания. Динамические функции. (М)	2	
3.2. Основные механические модели вязкоупругого поведения. (М) <i>Соотношение между вязкоупругими функциями, расчет релаксационного спектра.</i> (М)	2	
3.3. Вязкоупругость и молекулярные модели. Молекулярные движения индивидуальной макромолекулярной цепи, релаксационные свойства концентрированных растворов и расплавов, вязкоупругость полидисперсных полимеров. (М)	2	
2. Модуль 4. Жидкости	6	
4.1. «Ньютоновские» и «неньютоновские» жидкости , определения. Неньютоновское течение вязкоупругих жидкостей. Неньютоновские свойства структурированных систем – пластичность жидкостей. Вязкость анизотропных жидкостей. (М)	2	
4.2. Уравнения для вязкости и кривых течения. Значение вискозиметрических измерений. Уравнения степенного типа, уравнения с пределом текучести. Основные зависимости вязкости от состава материала. Неньютоновское течение как следствие полидисперсности материала. (М)	2	
4.3. Упругость при сдвиговом течении. Высокоэластические сдвиговые деформации. Нормальные напряжения при сдвиговом течении, нормальные напряжения и упругость. (М)	2	
3. Модуль 5. Упругие материалы	2	
5.1. Линейные упругие (зуковские) материалы. Линейные анизотропные упругие материалы. Большие упругие деформации и нелинейные свойства твердых материалов. (М)	2	
4. Модуль 7. Тиксотропия и предел текучести – два важных реологических явления	2	
Измерение тиксотропии. Оценка прочности тиксотропных структур. Измерение скорости восстановления структуры геля.	1	
Измерение предела текучести. Применение CS- и CR-реометров для измерения предела текучести. Построение зависимости деформации от напряжения сдвига. Использование кривых ползучести и восстановления для оценки поведения образцов ниже предела текучести. Применение лопатных мешалок для измерения предела текучести.	1	
Итого:	18	

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

№ п/п	Библиографическое описание (название литературного источника)	Наличие		
		Электронно-библиотечная система (ЭБС)	Библиотека МГТУ (печатное издание)	Количество экземпляров печатного издания
1.	Малкин, А. Я. Реология: концепции, методы, приложения : авториз. пер. с англ. / А. Я. Малкин, А. И. Исаев. -	-	+	13

	Санкт-Петербург : Профессия, 2010, 2007. - 557 с.			
2.	Мачихин, Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин. - Москва : Лег. и пищевая пром-сть, 1981.	-	+	29

Дополнительная литература

№ п/п	Библиографическое описание (название литературного источника)	Наличие		
		Электронно-библиотечная система (ЭБС)	Библиотека МГТУ (печатное издание)	Количество экземпляров печатного издания
3.	Максимов, А. С. Реология пищевых продуктов : лаб. практикум : учеб. пособие для вузов / А. С. Максимов, В. Я. Черных. - Санкт-Петербург : Гиорд, 2006. - 169 с.	-	+	10
4.	Деркач, С. Р. Реология эмульсий : очерки по коллоидной химии / С. Р. Деркач. - Санкт-Петербург : Наука, 2012. - 211 с.	-	+	10
5.	Маслова, Г. В. Реология рыбы и рыбных продуктов / Г. В. Маслова, А. М. Маслов. - Москва : Лег. и пищевая пром-сть, 1981. - 216 с.	-	+	49

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Материалы, находящиеся в свободном доступе на следующих сайтах:

- <http://www.wssanalytchem.org/default.aspx>
- <http://anchem.ru/>
- <http://chemexpress.fatal.ru>
- <http://www.chemport.ru>
- <http://djvu-inf.narod.ru/nclib.htm>
- <https://himya.ru/reologiya.html>
- <https://link.springer.com/journal/397>

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ «РЕОЛОГИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ»

Изучение дисциплины «Реология дисперсных систем» предусматривает преемственность с курсом «Коллоидная химия» в процессе освоения программы бакалавриата.

ПЛАН СЕМИНАРОВ

Модуль 3. Вязкоупругость

Семинар 1. Капиллярная вискозиметрия

Капиллярная вискозиметрия. Основы метода, течение в капилляре. Пределы капиллярной вискозиметрии. Капиллярные вискозиметры. Вискозиметры с регулируемой скоростью течения. (М) Вискозиметры, действие которых основано на гравитации.

Вопросы

1. Чем отличаются друг от друга методы для научных исследований от технологических методов?
2. Что измеряется в методе капиллярной вискозиметрии?

3. Являются ли напряжения одинаковыми в образце, исследуемом методом капиллярной вискозиметрии?
4. Как вычисляются напряжения сдвига в методе капиллярной вискозиметрии?
5. Как вычислит объемный расход жидкости, если известна ее средняя скорость течения через капилляр?
6. Что такое входовые поправки и зачем их необходимо определять?
7. Где величина входовых поправок более значима – в коротких капиллярах или длинных? Почему?
8. На что расходуется энергия внешнего источника при течении жидкости через капилляр?
9. Какие величины связывает между собой закон Ганена-Пуазейля?
10. Что такое установившееся течение?
11. Дайте определение относительной вязкости.
12. Что дает закон Рабиновича-Вайссенберга?
13. Как выражается закон Рабиновича-Вайссенберга для ньютоновской жидкости?

Семинар 2. Научная литература по реологии. Написание статей. Подготовка презентаций экспериментальных результатов

Семинар 3. Ротационная реометрия

Ротационная реометрия. Основы метода. Задачи и возможности метода, ограничения ротационной вискозиметрии. Ротационные приборы. (М) Сравнение принципиально различных конструкций, сравнение СS- и СR-реометров. Уравнения для расчета скорости сдвига, напряжения сдвига и вязкости. Критерии качества измерений. Сравнение цилиндрических измерительных систем с системами конус-плоскость.

Вопросы

1. Объясните принцип действия капиллярного вискозиметра. Напишите уравнение Пуазейля для объемной скорости движения жидкости в капилляре. Как калибруются капиллярные вискозиметры?
2. Объясните принцип действия ротационных вискозиметров. Для каких систем используются приборы этого типа?
3. Что измеряется в методе ротационной реометрии?
4. Что такое крутящий момент и как он связан с напряжением сдвига?
5. Что является условием однородности напряжений в исследуемом образце в методе ротационной реометрии?
6. Какими преимуществами обладает схема исследования образца в методе конус-плоскость?
7. Почему различаются касательные напряжения на стенках внутреннего и наружного цилиндра в методе ротационной реометрии?

Литература

1. А.Я. Малкин, А. Исаев, Реология: Концепции, методы, применение, СПб.: Изд-во Профессия, 2010, Раздел 5, стр. 325-397.
2. Y. Damianou, G.C. Georgiou, J. Moulitsas, Combined effects of compressibility and slip of flow of a Herschel-Bulkley fluid, *J. Non-Newton. Fluid mech.*, 2015

3. P. Panaseti, K.D. Housiadas, G.C. Georgiou, Newtonian Poiseuille flows with pressure-dependent wall slip, *J. Rheology*, v. 57. № 1, 315-332 (2013).
4. T. Himmel, M.H. Wagner, Experimental determination of interfacial slip between polyethylene and thermoplastic elastomer, *J. Rheology*, v. 57, № 6, 1773-1785 (2013).
5. A. Ya. Malkin et al, Pressure losses in flow of viscoelastic polymeric fluids through short channels, *J. Rheology*, v. 58, № 2, 433-448 (2014)

Модуль 4, 5 и 7. Жидкости, Упругие материалы. Тиксотропия и предел текучести – два важных реологических явления

Семинар 4. Тиксотропия

Измерение тиксотропии. Оценка прочности тиксотропных структур. Измерение скорости восстановления структуры геля.

Вопросы

1. Что такое тиксотропия?
2. Что является причиной тиксотропии?
3. Почему тиксотропию можно исследовать методом ротационной реометрии и нельзя методом капиллярной вискозиметрии?

Литература

1. A. Mujumbar, A.N. Beris, A.B. Metzner, Transient phenomena in thixotropic systems, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 102, 157–178 (2002).
2. I. Masalova, M. Taylor, E. Kharatiyan, A. Ya., Malkin, Rheopexy in highly concentrated emulsions *J. Rheology*, v. 49, 839-849 (2005).
3. P. C. F. Møller, J. Mewis, D. Bonn, Yield stress and thixotropy: on the difficulty of measuring yield stresses in practice, *Soft matter*, v. 2, 274–283 (2006).
4. J. Mewis, N.J. Wagner, Thixotropy, *Adv. Coll, Interface Sci.*, 147–148, 214–227 (2009).
5. S. Ilyin, et al., Gels of cysteine/Ag-based dilute colloid systems and their rheological properties, *Soft Matter*, 7(19) 9090-9103 (2011).
6. J.M. Kim, et al, The microstructure and rheology of a model, thixotropic nanoparticle gel under steady shear and large amplitude oscillatory shear, *J. Rheology*, v. 58 , № 5, 1301-1329 (2014).
7. J. Delgado, A. Castillo, Shear-induced structures formed during thixotropic loops in dilute worm-micelle solutions, *J. Coll. Interface Sci.*, v. 312, 481-488 (2007).

Семинар 5 (ИОС). Введение. Напряжение. Деформация. Скорость деформации. Линейные среды и материалы. Вязкоупругие свойства, измеренные динамическим методом

Вопросы

1. Что такое скорость сдвига?
2. Отличается ли скорость сдвига от градиента скорости?
3. Изобразите принципиальную схему ротационного вискозиметра.
4. Что такое пенетрометр? В чем особенности областей применения пенетрометров?
5. Что называется вязкоупругими свойствами?
6. Почему различаются модель упругости G'' и модуль потерь G' ?
7. Почему при измерении вязкоупругих свойств используют метод гармонических колебаний?
8. Что такое сдвиг по фазе между значениями напряжений и деформаций?

9. Как из измеренного отношения амплитуд деформации/напряжения вычисляются компоненты комплексного модуля упругости?
10. Почему динамический модуль упругости называют комплексным модулем? Как он выражается через свои компоненты?
11. Какова роль инерционности колеблющегося элемента прибора для измерения вязкоупругих свойств? При каких условиях ее можно не учитывать?
12. Что такое собственная частота колебаний?

Литература

1. А.Я. Малкин, А. Исаев, Реология: Концепции, методы, применение, СПб.: Изд-во Профессия, 2010, Раздел 6, стр. 472-550.

Семинар 9 (ИОС и аудитория). Представление и защита экспериментальных результатов (научная статья по результатам лабораторного практикума).