

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Химический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Высокомолекулярные соединения

---

Уровень высшего образования

Специалитет

---

Направление подготовки / специальность

04.05.01 - Фундаментальная и прикладная химия

---

Направленность образовательной программы

Неорганическая химия

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.03.09 Высокомолекулярные соединения относится к обязательной части образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности	ОПК-1-1: Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов ОПК-1-2: Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии ОПК-1-3: Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности	ОПК-1-1: Владеть основами номенклатуры и классификации полимеров; методами оценки гибкости макромолекул; методами оценки и расчета термодинамических параметров растворов полимеров; методами оценки кинетических и термодинамических параметров полимеризации; методами оценки фазовых и физических состояний полимеров  Уметь идентифицировать полимеры по химической формуле и пространственной форме; проводить анализ характера взаимодействия полимер-растворитель; определять тип полимеризации и проводить полимеризацию в различных условиях; устанавливать взаимосвязь кинетических параметров с молекулярной массой образующихся полимеров; оценивать механические свойства полимера  Знать задачи и объекты исследования науки о полимерах, ее	Кolloквиум Контрольная работа Опрос	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>междисциплинарных связях; основы науки о полимерах и области ее практического использования, иметь современные представления о полимерном состоянии как особой форме существования веществ, в основных физических и химических проявлениях, качественно отличных от низкомолекулярных веществ; принципы классификации и основные особенности свойств полимеров; особенности молекулярного строения полимеров, механизмы изгибания полимерных молекул и количественные критерии оценки гибкости макромолекул; основные процессы полимеризации и поликонденсации; реакции, протекающие в полимерах; природу мезоморфного строения и особенности кристаллического состояния полимеров</p> <p>ОПК-1-2: Владеть современными приемами синтеза полимеров и методами изучения их свойств</p> <p>Уметь реализовывать современный подход к синтезу полимеров</p> <p>Знать методологию создания новых полимерных материалов на основе взаимосвязи «состав – структура – свойство»</p> <p>ОПК-1-3: Владеть навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач</p>		
--	--	---	--	--

		<p>исследования</p> <p>Уметь критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач</p> <p>Знать основные методы научно-исследовательской деятельности</p>		
ОПК-2: Способен проводить химический эксперимент с использованием современного оборудования, соблюдая нормы техники безопасности	<p>ОПК-2-1: Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности</p> <p>ОПК-2-2: Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>ОПК-2-3: Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием современного научного оборудования</p>	<p>ОПК-2-1:</p> <p>Владеть навыками работы в лабораторных условиях с мономерами и инициаторами</p> <p>Уметь работать с химической посудой</p> <p>Знать нормы техники безопасности при работе с мономерами и инициаторами</p> <p>ОПК-2-2:</p> <p>Владеть навыками синтеза полимеров методами цепной и ступенчатой полимеризации</p> <p>Уметь проводить синтез полимеров методами полимеризации и поликонденсации с соблюдением необходимых мер безопасности, в том числе с токсичными и пожароопасными веществами</p> <p>Знать нормы техники безопасности при синтезе полимеров</p> <p>ОПК-2-3:</p> <p>Владеть методами изучения механических и термомеханических свойств полимеров</p> <p>Уметь работать на разрывной машине, консистометре Геппера</p>	Контрольная работа Практическое задание	Экзамен: Контрольные вопросы

		Знать теоретические основы методов исследования свойств веществ полимерной природы		
ОПК-6: Способен представлять результаты профессиональной деятельности в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе	ОПК-6-1: Представляет результаты работы в виде отчета по стандартной форме на русском языке ОПК-6-2: Представляет информацию химического содержания с учетом требований библиографической культуры	ОПК-6-1: Владеть навыками осуществления коммуникации в устной и письменной форме для решения широкого круга задач в профессионально-ориентированной сфере  Уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь для решения широкого круга задач в профессионально-ориентированной сфере  Знать нормы, правила и способы осуществления коммуникации в устной и письменной форме для решения широкого круга задач в профессионально-ориентированной сфере  ОПК-6-2: Владеть навыками интерпретации данных, полученных в ходе выполнения лабораторных работ по синтезу и изучению свойств полимеров  Уметь осуществлять сбор, анализ, систематизацию и оценку результатов с учетом требований библиографической культуры  Знать основные способы анализа, оценки и систематизации литературных данных, необходимых для решения профессиональных задач	Практическое задание Реферат	Экзамен: Контрольные вопросы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>6</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>216</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	80
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>66</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Введение. Общие сведения о высокомолекулярных соединениях	16	2	4	6	10
Синтез полимеров методами цепной и ступенчатой полимеризации	56	14	28	42	14
Химические свойства и химические превращения полимеров	24	2	12	14	10
Физика полимеров	16	6	0	6	10
Физико-химия растворов полимеров	30	4	16	20	10
Физико-механика полимеров	36	4	20	24	12
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	216	32	80	114	66

#### Содержание разделов и тем дисциплины

«Химия полимеров»

Введение. Общие сведения о высокомолекулярных соединениях

Основные понятия и определения: полимер, олигомер, макромолекула, мономерное звено, степень полимеризации. Различия в свойствах высоко- и низкомолекулярных веществ. Классификация и номенклатура полимеров. Средние молекулярные массы и молекулярно-массовое распределение. Типы

конфигурационной изомерии (химическая изомерия звеньев, цис–транс-изомерия, стереоизомерия)

Синтез полимеров методами цепной и ступенчатой полимеризации

Радикальная полимеризация. Инициирование радикальной полимеризации. Типы инициаторов.

Эффективность инициирования. Элементарные реакции цепного радикального процесса полимеризации.

Кинетические уравнения основных стадий. Стационарное состояние. Уравнение скорости радикальной полимеризации. Границы применимости. Средняя длина кинетической цепи. Реакции передачи цепи при

радикальной полимеризации. Передача цепи на инициатор. Передача цепи на мономер. Деградационный

перенос цепи. Особенности полимеризации мономеров аллилового ряда. Регуляторы молекулярной

массы. Классы соединений. Значение и применение регуляторов молекулярной массы. Уравнение

степени полимеризации для стационарного процесса начальной стадии полимеризации. Определение

относительных констант передачи цепи, отношения  $k_p/k_t^{0.5}$ . Ингибирование и регулирование

радикальной полимеризации. Сильные и слабые ингибиторы (замедлители). Примеры. Индукционный

период. Определение скорости инициирования методом ингибирования. Радикальная полимеризация на

глубоких степенях превращения. Гель-эффект. Модель обрыва цепи. Уравнение Зубова-Емельянова.

Приемы подавления гель-эффекта. Способы проведения радикальной полимеризации. Особенности

эмульсионной полимеризации. Термодинамика полимеризации. Полимеризационно-

деполимеризационное равновесие. Предельная температура полимеризации. Равновесная концентрация

мономера.

Радикальная сополимеризация. Кинетическая схема сополимеризации в рамках модели концевых звеньев.

Дифференциальное уравнение состава сополимера Майо-Льюиса. Границы применимости уравнения.

Относительные активности мономеров. Кривые состава сополимера. Реакционная способность

мономеров и радикалов. Стерический, полярный, резонансный фактор. Активные мономеры и

неактивные. Правило антибатности. Схема Q-e Алфрея-Прайса. Соплимеризация на глубоких степенях

превращения. Композиционная неоднородность.

Катионная полимеризация. Мономеры, склонные к катионной полимеризации. Катализаторы и

сокатализаторы. Рост и ограничение роста цепей при катионной полимеризации.

Анионная полимеризация. Мономеры, склонные к анионной полимеризации. Катализаторы анионной

полимеризации. Инициирование, рост и ограничение роста цепей при анионной полимеризации.

«Живые цепи».

Ионно-координационная полимеризация. Полимеризация диенов на алкилах металлов. Полимеризация на катализаторах Циглера-Натта.

Поликонденсация. Типы реакций поликонденсации. Равновесная и неравновесная поликонденсация.

Роль побочного низкомолекулярного продукта. Основные кинетические закономерности. Уравнение

Карозерса. Сшитые и разветвленные полимеры. Точка гелеобразования. Фенопласты, полиуретаны,

полиэфиры, полиамиды, поликарбонаты. Ароматические конденсационные полимеры. Кевлар.

Полифосфазены.

Химические свойства и химические превращения полимеров

Характерные особенности макромолекул как реагентов. Сшивание полимеров. Высыхание красок.

Вулканизация каучуков. Отверждение эпоксидных смол. Деструкция полимеров. Термическая

деструкция. Циклизация. Термоокислительная деструкция. Горение. Фотодеструкция. Фотоокисление.

Полимераналогичные превращения. (Раздел изучается самостоятельно).

«Физика, физико-химия, физико-механика полимеров»

Физика полимеров

Свободно-сочлененная цепь – модель идеально гибкой макромолекулы. Идеальный гауссов клубок,

характеристики размеров: контурная длина цепи, среднеквадратичное расстояние между концами цепи

( $1/2$ ), среднеквадратичный радиус инерции ( $1/2$ ) (вывод), связь между ними. Распределение по размерам,

распределение по плотности звеньев в клубке, средняя плотность звеньев. Конформация.

Реальные цепи. Влияние эффекта исключенного объема на размер реальных цепей; факторы,

усиливающие эффект исключенного объема. Набухание клубка. Зависимость размеров клубка от

концентрации полимера и температуры. Теорема Флори. Влияние фиксированных валентных углов на размер реальных цепей; контурная длина цепи реальной макромолекулы. Влияние на размер реальной цепи стерических эффектов заместителей близлежащих звеньев; уравнение расстояния между концами макромолекул в реальных цепях.

Гибкость цепи. Поворотнo-изомерный механизм. Термодинамическая и кинетическая гибкость. Понятие о сегменте. Термодинамический (статистический, Куна), кинетический сегменты. Количественные характеристики гибкости.

Упругость полимеров. Термодинамические составляющие. Упругость идеальной цепи. Термодинамика деформированного клубка. Энтропийная природа высокоэластичности. Зависимость модуля упругости клубка (модуля высокоэластичности) от температуры.

Физико-химия растворов полимеров

Особенности процессов растворения и свойств растворов полимеров. Ограниченная растворимость.

Фазовые диаграммы, высшая и низшая критические температуры растворения. Правило фаз Гиббса.

Термодинамика растворов полимеров, принципы расчета энтальпии и энтропии растворения, энергия взаимообмена. Параметр растворимости Гильдебранда. Параметр взаимодействия Флори. Осмотическое давление. Уравнение состояния полимера в растворе. Сродство полимера к растворителю. Определение среднечисловой молекулярной массы и второго вириального коэффициента. Хорошие, плохие, идеальные растворители. Термодинамические характеристики растворов полимеров. -Условия.

Количественные характеристики качества растворителя.

Гидродинамические свойства макромолекул в разбавленных растворах. Приведенная и характеристическая вязкости. Связь характеристической вязкости с молекулярной массой (уравнение Марка-Куна-Хаувинка). Связь характеристической вязкости со средними размерами макромолекул (уравнение Флори-Фокса). Универсальность константы Флори-Фокса Вискозиметрия как метод определения молекулярной массы полимеров. (Раздел изучается самостоятельно с использованием учебно-методического пособия «Изучение молекулярно-массовых характеристик полимеров»).

Явление набухания. Гели.

Вязкостные свойства разбавленных, умеренно концентрированных и концентрированных растворов полимеров. Понятия тиксотропии и дилатансии.

Вязкоупругость полимеров (растворов, расплавов). Модель Максвелла. Релаксация напряжения, время релаксации. Ползучесть. Упругий гистерезис. Механическое стеклование.

Физико-механика полимеров

Полимерные тела. Кристаллические и аморфные полимеры. Необходимые условия кристаллизации, особенности кристаллических структур полимеров, кинетика кристаллизации.

Три физических состояния аморфных полимеров. Термомеханическая кривая. Признаки высокоэластичной деформации. Стеклообразное состояние, особенности. Три определения температуры стеклования. Механизм стеклования. Теории стеклования. Вязкотекучее состояние, сегментальный характер течения, проявление вязкоупругих свойств расплавов полимеров. Факторы, влияющие на температуры стеклования и текучести полимеров: молекулярная масса, образование поперечных связей, наличие кристаллических областей, наличие пластификатора.

Пластификация. Механизмы пластификации полярных (Журков) и неполярных (Каргин и Малиновский) полимеров, межструктурная пластификация. Требования к пластификаторам. Влияние пластификатора на вязкость расплава.

Механические свойства полимеров. Вынужденно-эластическая деформация, природа. Упругий гистерезис. Долговечность. Механизм разрушения полимеров.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.



Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "-" (-).
- открытый онлайн-курс МООС "-" (-).

Иные учебно-методические материалы: 1. Замышляева О.Г., Зайцев С.Д., Саломатина Е.В.

Изучение скорости радикальной полимеризации в массе. Учебно-методическое пособие.

Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. - 20 с.

2. Мочалова А.Е., Зайцев С.Д., Смирнова Л.А. Вопросы и задачи по курсу "Высокомолекулярные соединения Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2019. - 28 с.

3. Копылова Н.А., Зайцев С.Д. Деструкция полимеров: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. - 24 с.

4. Изоэлектрическая точка полиамфолита / Сост. Замышляева О.Г. Практикум. – Н.Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 20 с.

5. Смирнова Л.А., Мочалова А.Е. Механические свойства полимеров: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. - 21 с.

6. Определение молекулярно-массовых характеристик полимеров методом вискозиметрии / Составители Л.А. Смирнова, А.Е. Мочалова - Н.Новгород: Издательство Нижегородского госуниверситета, 2011. – 25 с.

7. Пенополиуретаны / Составители С.А. Рябов, А.Н. Маслов - Н.Новгород: Издательство Нижегородского госуниверситета, 2005. – 15 с.

8. Смирнова Л.А., Мочалова А.Е. Получение наполненных ПВХ-композиций по пластизольной технологии. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 19 с.

9. Термомеханические свойства аморфных полимеров: Составители: Смирнова Л.А., Саломатина Е.В.: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2018. –18 с.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Коллоквиум) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

1. При полимеризации метилметакрилата процесс идет стационарно до 30% конверсии и образуется полимер с молекулярной массой  $1 \times 10^5$ , затем скорость процесса возросла и молекулярная масса полимера составила  $1 \times 10^6$ . По окончании процесса осталось 2% мономера – низкомолекулярного соединения. Рассчитать среднечисловую и среднемассовую молекулярные массы образующегося полимера и его полидисперсность. Принять, что на каждой стадии процесса образуется монодисперсный продукт?
2. Докажите, что отношение является мерой полидисперсности полимера.
3. Вычислите параметр полидисперсности смеси равных по массе фракций полимеров с молекулярными массами  $1 \times 10^3$  и  $1 \times 10^5$ .

4. Почему гомополимеризация активного мономера стирола в 16-20 раз меньше скорости гомополимеризации неактивного мономера винилацетата при одинаковых условиях (инициатор, температура)?
  5. Чему равна среднечисловая молекулярная масса полистирола, полученного в присутствии 0.01 моль/л *n*-бутиллития, если реакцию остановили на конверсии 70%. Плотность стирола равна 0.9 г/мл.
  6. Какие из приведенных ниже полимеров деполимеризуются при термической деструкции: полиметилметакрилат, полиэтилен, поливинилхлорид, полиметилакрилат, поли-*α*-метилстирол? Напишите формулу звена каждого из них.
  7. В чем заключается универсальность уравнения Флори-Фокса?
- 
1. Из расплава полимера получают шланг, продавливая полимер через насадку экструдера. Что происходит с размерами шланга после выхода из экструдера? Ответ поясните.
  2. Почему аморфные полимеры в противоположность низкомолекулярным соединениям способны самопроизвольно растворяться даже при  $DH > 0$ ?
  3. Напишите основные реакции, которые ответственны за то, что эффективность инициирования меньше 1 при полимеризации стирола в присутствии пероксида бензоила.
  4. Какие из приведенных ниже веществ можно использовать в качестве регуляторов молекулярной массы при радикальной полимеризации винилацетата: персульфат аммония, ацетон, четырехбромистый углерод, гидрохинон, 2,6-дипрот.бутил-4-метилфенол, изопропиловый спирт, циклогексан, децилмеркаптан.
- 
1. Какова средняя эффективность инициирования динитрилом азоизомасляной кислоты, если при полимеризации в присутствии 0.01 моль этого инициатора получен полимер, содержащий на концах макромолекул 0.012 моль осколков этого инициатора, а степень превращения инициатора составляет 80%?
  2. Напишите реакции передачи цепи при полимеризации стирола на  $CCl_4$ ,  $CBr_4$ , хлороформ, *n*-бутилмеркаптан, *n*-пропиловый спирт, изопропиловый спирт, бензол, этилбензол. Расположите растворители в порядке увеличения их реакционной способности в реакции передачи цепи. Ответ поясните.
  3. Обсудите влияние активности мономера и радикала на наблюдаемую активность реакций радикала с мономером. В каком порядке можно расположить следующие мономеры на основании их активности: стирол, винилацетат, метилметакрилат, акрилонитрил? В каком порядке изменяется активность радикалов, образующихся из соответствующих мономеров?
  4. Какие мономеры из перечисленных относятся к неактивным: акрилонитрил, метилметакрилат, винилацетат, метакриламид, пропилен, стирол, бутилвиниловый эфир, бутадиен-1,3.
  5. Из следующего ряда мономеров выберете активные: метилакрилат, винилхлорид, метакрилонитрил, изопрен, винилацетат, стирол, метилметакрилат, акриловая кислота.
  6. Почему деформационные кривые «напряжение – деформация» для эластомера при увеличении напряжения и после снятия нагрузки не совпадают?
  7. Для какого из двух полимеров, находящихся в стеклообразном состоянии, – целлюлозы или полибутадиена – будет сильнее проявляться вынужденно-эластическая деформация? Почему?

### Критерии оценивания (оценочное средство - Коллоквиум)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Высокий уровень владения материалом. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнены все задания. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами. Проявлены отличные способности применять знания и умения к выполнению конкретных задач. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнена большая часть заданий, допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения при решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить полноту знаний и наличие навыков и умений вследствие отказа обучающегося от ответа.

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

## Вариант 1

Задание 1. При полимеризации 0.128 моль стирола (конверсия 70 %) в присутствии инициатора диазоаминобензола  $\text{C}_6\text{H}_5\text{--NH--N=N--C}_6\text{H}_5$  в полимере найдено 0.13% азота. Сколько инициатора останется в реакционной смеси, если принять его эффективность, равной 0.7 и начальное содержание  $5.0 \times 10^{-3}$  моль?

Задание 2. Рассчитайте скорость полимеризации метилметакрилата в 10%-ном растворе бензола при 70°C. Концентрация динитрила азоизомасляной кислоты равна 0.2 мас.% от массы мономера. Для полимеризации взято 900 г реакционной смеси. Плотности метилметакрилата и бензола равны 0.936 и 0.879 г/мл, соответственно.  $E_2(\text{ДАК}) = 128.5$  кДж/моль,  $k_2(60^\circ\text{C}) = 1.8 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ,  $f = 0.6$ ,  $A_p = 8.7 \times 10^5 \text{ л}/(\text{моль} \times \text{с})$ ,  $A_o = 1.1 \times 10^8 \text{ л}/(\text{моль} \times \text{с})$ ,  $E_p = 19.7$  кДж/моль,  $E_o = 5.0$  кДж/моль.

Задание 3. Рассчитайте, сколько грамм додецилмеркаптана нужно ввести в стирол при получении 100 кг литьевого полистирола при температуре 60°C, если известно, что его введение приводит к снижению молекулярной массы полимера с  $5 \times 10^5$  до  $8 \times 10^4$ . Примите, что полимеризация в этих условиях протекает в стационарном режиме до полного исчерпания мономера. Плотность стирола при данной температуре 0.897 г/мл. Относительная константа передачи цепи на додецилмеркаптан равна 18, передачей цепи на инициатор и мономер пренебречь.

## Вариант 2

Задание 1. Константа скорости распада пероксида бензоила в бензоле при 50°C равна  $0.048 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ , а третбутилпероксидикарбоната –  $8.85 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . Приняв эффективность инициирования 0.6 и 0.8 и массу инициаторов – соответственно 27.225 и 26.325 г, определите отношение скоростей инициирования в начальный момент времени, через 20 мин и через 5 час от начала реакции, если объемы реакционных смесей при температуре опыта одинаковы, а константы скорости и эффективность можно считать неизменными в ходе реакции.

Задание 2. Полимеризация винилового мономера протекает со скоростью  $4.3 \times 10^{-6}$  моль/(л×с). Вычислите скорость полимеризации, если концентрацию мономера увеличить в 1.3 раза, а концентрацию инициатора уменьшить в 1.2 раза. Порядок скорости реакции по обоим реагентам равен соответственно 1.4 и 0.8.

Задание 3. Определите, какой должна быть концентрация дициклогексилпероксидикарбоната для получения из метилметакрилата полимера с начальной длиной кинетической цепи 2000, если  $k_{ин} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ,  $= 0.14 \text{ л}^{0.5}/(\text{моль} \times \text{с})^{0.5}$ , а содержание мономера 150 г в 1.2 л?

## Вариант 3

Задание 1. Константа скорости распада дициклогексилпероксидикарбоната при 50°C равна  $8.46 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . Сколько макромолекул образуется при распаде инициатора в стироле за время 1 час, если масса стирола 0.5 кг, а начальная концентрация инициатора равна 0.5 мас.%.

Известно, что в этих условиях макрорадикалы обрываются путем реакции соединения, эффективность инициирования 0.5.

Задание 2. Рассчитайте начальные скорости полимеризации стирола (Ст) и винилацетата (ВА) при 60°C. Процесс инициировали динитрилом азоизомасляной кислоты. Концентрация инициатора равна 0.5 масс. %, эффективность инициирования – 0.6,  $k_2 = 8.46 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ; (Ст) = 0.022, (ВА) =  $0.24 \text{ л}^{0.5}/(\text{моль} \times \text{с})^{0.5}$ , плотности стирола и винилацетата составляют 0.906 и 0.920 г/мл, соответственно. Сравните и объясните полученные результаты.

Задание 3. При изготовлении лака на основе полиметилметакрилата полимеризацию мономера проводили в бутилацетате (S1) при 70°C в соотношении растворитель – мономер 10:1 по объему в присутствии инициатора пероксида бензоила. Известно, что 5% мономера превращается в полимер за 30 мин. Какой молекулярной массы образуется при этом полимер? Сколько в реакционной смеси было инициатора? Как изменится скорость процесса, если заменить бутилацетат на метилэтилкетон (S2) с таким расчетом, чтобы молекулярная масса полимера осталась неизменной. Плотности метилметакрилата, бутилацетата и метилэтилкетона равны 0.936, 0.863 и 0.805 г/мл, соответственно;  $f = 0.6$ ,  $k_2 = 1.2 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ,  $CI = 0.02$ ,  $CS1 = 0.16 \times 10^{-4}$ ,  $CS2 = 0.5 \times 10^{-4}$ ,  $\lambda = 0.5$ , передачей цепи на мономер пренебречь.

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

Задание 1. Методом радикальных ингибиторов рассчитайте скорость инициирования при сополимеризации метилметакрилата со стиролом в присутствии динитрила азоизомасляной кислоты с концентрацией  $1 \times 10^{-2}$  моль/л при 60°C. Расчет проводить по следующим экспериментальным данным, полученным в условиях проведения процесса в присутствии стабильного радикала Z:

$[Z] \times 10^4$ , моль/л	0	4	8	10
$t_{\text{инд}}$ , мин	0	10	20	25

Задание 2. Рассчитайте состав загрузочной смеси (в кг) при получении литьевого суспензионного полиметилметакрилата в кубовом реакторе объемом  $1 \text{ м}^3$ , если он заполняется на 2/3, соотношение мономер – вода 1:3 по объему. Инициатор – динитрил азоизомасляной кислоты, температура синтеза 60°C. Процесс проходит в течение 10 часов и протекает в стационарном режиме. Молекулярная масса образовавшегося полимера  $1 \times 10^5$ . В качестве передатчика цепи используют додецилмеркаптан. Передачей цепи на мономер пренебречь.  $k_p = 515 \text{ л}/(\text{моль} \times \text{с})$ ,  $k_o = 25.5 \times 10^6 \text{ л}/(\text{моль} \times \text{с})$ ,  $CS = 0.6$ ,  $f = 0.65$ ,  $k_2 = 1.2 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ , плотность метилметакрилата 0.890 г/мл, обрыв цепи протекает путем диспропорционирования.

Задание 3. Рассчитайте начальную длину кинетической цепи при полимеризации 54 г винилацетата, инициируемой пероксидом бензоила массой 0.04 г при 60°C, если  $k_{ин} = 8.5 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ ,  $= 0.43 \text{ л}^{0.5}/(\text{моль} \times \text{с})^{0.5}$ , плотность мономера 0.87 г/мл.

### Вариант 2

Задание 1. При полимеризации 1 л стирола в массе в присутствии динитрила азоизомасляной кислоты при 60°C за 120 мин 10% мономера превращается в полимер. Какой молекулярной массы образуется при этом полимер, если известно, что 80% макрорадикалов обрывается диспропорционированием. Сколько процентов инициатора было введено в мономер? Как изменится начальная скорость процесса и молекулярная масса полимера при 10% конверсии, если в реакционную смесь ввести 50% от объема мономера  $\text{CCl}_4$ ? Плотности стирола и четыреххлористого углерода равны 0.903 и 1.545 г/мл, соответственно;  $f = 0.6$ ,  $k_2 = 1.2 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ,  $C_S = 9 \times 10^{-3}$ ,  $C_M = 0.6 \times 10^{-4}$ ,  $= 0.026 \text{ л}^{0.5}/(\text{моль} \times \text{с})^{0.5}$ .

Задание 2. Для получения полиметилметакрилата с молекулярной массой  $10^5$  используют 0.4 мас.% пероксида бензоила и *n*-децилмеркаптан. Сколько грамм *n*-децилмеркаптана нужно взять при полимеризации 1 кг мономера, чтобы в условиях стационарного процесса при 60°C получался полимер с указанной молекулярной массой? Сколько времени потребуется для превращения 10% (по массе) мономера в полимер? Обрыв протекает путем рекомбинации.  $C_S = 0.6$ ,  $C_M = 0.6 \times 10^{-4}$ ,  $C_I = 0.02$ ,  $= 0.13 \text{ л}^{0.5}/(\text{моль} \times \text{с})^{0.5}$ , плотность мономера при температуре реакции 0.936 г/мл, эффективность иницирования 0.8,  $k_2 = 5 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ .

Задание 3. Рассчитайте начальную длину кинетической цепи при полимеризации 54 г винилацетата, инициируемой пероксидом бензоила массой 0.04 г при 60°C, если  $k_{ин} = 8.5 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ ,  $= 0.43 \text{ л}^{0.5}/(\text{моль} \times \text{с})^{0.5}$ , плотность мономера 0.87 г/мл.

### Вариант 3

Задание 1. Радикальная полимеризация 1 л стирола первоначально проводилась в присутствии циклогексана (объем циклогексана 3 л) и был получен полимер с молекулярной массой 50000. Вычислить молекулярную массу полимера после разбавления реакционной смеси равным объемом диоксана. Относительные константы передачи цепи на циклогексан  $C_{S1} = 2 \times 10^{-4}$ , на диоксан  $C_{S2} = 8 \times 10^{-4}$ , на мономер  $C_M = 3 \times 10^{-4}$ . Плотность стирола 0.9 г/мл, плотности растворителей 1 г/мл, при смешении объем реакционной смеси не меняется, передачей цепи на инициатор пренебречь.

Задание 2. Через какое время от начала процесса глубина превращения винилацетата при растворной полимеризации станет равной 15%. Винилацетат разбавлен четырехкратным объемом диоксана. Плотности винилацетата и диоксана принять равными 1 г/мл, скорость иницирования  $2.7 \times 10^{-9} \text{ л}/(\text{моль} \times \text{с})$ ,  $= 0.24 \text{ л}^{0.5}/(\text{моль} \times \text{с})^{0.5}$ .

Задание 3. Рассчитайте, сколько грамм *n*-бутилмеркаптана ( $CS = 21$ ) нужно ввести при получении литьевого полистирола вместо 200 г додецилмеркаптана ( $CS = 18$ ) при сохранении молекулярной массы образующегося полимера.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Высокий уровень владения материалом. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнены все задания. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами. Проявлены отличные способности применять знания и умения к выполнению конкретных задач. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнена большая часть заданий, допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения при решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить полноту знаний и наличие навыков и умений вследствие отказа обучающегося от

Оценка	Критерии оценивания
	ответа.

#### 5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

1. Каковы специфические свойства полимеров, которые существенным образом отличают их от низкомолекулярных соединений?
2. Назовите принципы и критерии, в соответствии с которыми полимерное состояние вещества рассматривают как особую форму существования химических соединений с комплексом свойств, качественно отличным от свойств низкомолекулярных соединений.
3. По каким принципам классифицируют полимеры?
4. Каковы принципиальные отличия между реакциями цепной и ступенчатой полимеризации? Приведите примеры полимеров, которые могут быть получены цепной полимеризацией и поликонденсацией.
5. Какими способами можно инициировать процесс цепной радикальной полимеризации? Приведите примеры наиболее распространенных инициирующих систем.
6. Что такое эффективность инициирования? Чем обусловлено отклонение эффективности инициирования от 1.
7. Какие основные допущения используют при выводе уравнения скорости радикальной полимеризации? Выведите это уравнение.
8. Какие факторы определяют максимально достижимую молекулярную массу полимера при радикальной полимеризации? Из кинетических данных выведите уравнение для степени радикальной полимеризации.
9. Что такое полимераналогичные превращения? Каковы основные направления их практического использования? Приведите примеры полимеров, которые могут быть получены только по полимераналогичным реакциям.
10. В чем заключается механизм сшивания полимеров? Каковы основные направления практического использования этого метода?
11. Какова природа конформационной изомерии полимеров?
12. Что такое статистический сегмент или сегмент Куна? Выведите формулу для оценки размеров гибкоцепных полимеров.
13. Какова природа гибкости полимерных цепей? Перечислите факторы, оказывающие влияние на гибкость макромолекул.
14. В чем заключается различие между понятиями кинетическая и термодинамическая гибкость полимерной цепи?
15. В чем заключаются сходства и различия в свойствах растворов низко- и высокомолекулярных соединений?
16. Каковы основные положения термодинамики растворов полимеров? В рамках теории Флори-Хаггинса рассчитайте энтальпию и энтропию смешения полимера с растворителем.
17. Что такое термодинамическое качество растворителя? Приведите количественные критерии для оценки этого параметра.
18. Каковы современные представления о структуре аморфных полимеров?



19. Что такое стеклообразное, высокоэластическое и вязкотекучее состояния аморфных полимеров?
20. Что такое температура стеклования и температура текучести? Как их можно определить экспериментально?
21. Как зависит температура стеклования и температура текучести от молекулярной массы полимера?
22. Как влияет введение пластификатора на термомеханические параметры полимера?
23. В чем различие между гомо- и гетероцепными полимерами? Приведите примеры таких полимеров.
24. Что такое конфигурация макромолекул? Приведите типы конфигурационной изомерии. Каково влияние конфигурационной изомерии на свойства полимеров?
25. Каковы принципы и правила образования названий полимеров?
26. В чем заключаются особенности полимеризации мономеров аллилового ряда? Что такое деградационный перенос цепи?
27. Какие соединения называют регуляторами молекулярной массы? Для каких целей они используются?
28. Перечислите возможные реакции передачи цепи в радикальной полимеризации.
29. Как можно определить относительные константы передачи цепи на растворитель?
30. С чем связано резкое повышение скорости и степени полимеризации метилметакрилата на глубине превращения 15–25%? Каковы различия кинетики радикальной полимеризации в массе на малых и глубоких конверсиях?
31. Перечислите способы проведения радикальной полимеризации. Назовите достоинства и недостатки каждого способа.
32. При каком способе проведения радикальной полимеризации можно получить полимер высокой молекулярной массы при высоких скоростях процесса? Перечислите основные черты этого процесса.
33. Какие вещества называют ингибиторами? Как можно определить скорость инициирования методом ингибирования?
34. На чем основан процесс высыхания красок?
35. В чем заключается эффект исключенного объема?
36. Каковы различия механизмов гибкости жестко- и гибкоцепных полимеров? Приведите примеры таких полимеров.
37. Как изменяется с температурой модуль высокоэластической деформации?
38. Какие существуют подходы к оценке размеров макромолекул в случае жестко- и гибкоцепных полимеров?
39. Дайте определение понятиям «хороший», «плохой», «идеальный» растворитель для полимеров.
40. Что такое  $q$ -условия для раствора полимера? Какой физический смысл и какова природа  $q$ -состояния полимерного раствора?
41. Каковы основные принципы фракционирования полимеров?
42. Каковы теоретические основы исследования растворов полимеров методом осмометрии? Выведите уравнение состояния раствора полимера.
43. Напишите общее уравнение деформации аморфного полимера.

44. Изобразите деформационные кривые полимеров, находящихся в стеклообразном и высокоэластическом состояниях. Какие характеристики прочности можно получить при изучении деформации?
45. Каковы основные различия механизмов деформации полимерных стекол и полукристаллических полимеров?
46. Что понимают под полидисперсностью синтетических полимеров? Каковы причины, ее обуславливающие?
47. Что такое параметр полидисперсности? Как его оценивают?
48. В чем заключается смысл понятий «среднечисловая» и «среднемассовая молекулярная масса»? Приведите формулы для расчета этих характеристик.
49. В чем заключается различие между интегральными и дифференциальными функциями молекулярно-массового распределения? Для одного и того же образца полимера изобразите эти функции.
50. Что такое полимеризационно-деполимеризационное равновесие и предельные температуры полимеризации? Выведите связь предельной температуры с равновесной концентрацией мономера.
51. Какой процесс называют сополимеризацией? Перечислите основные типы сополимеров.
52. Выведите уравнение состава сополимера Майо-Льюиса. Какие допущения используют при выводе этого уравнения?
53. Какие мономеры относят к активным и неактивным? Сформулируйте правило антибатности.
54. Каковы количественные параметры реакционной способности мономеров и радикалов в радикальной сополимеризации?
55. Каким образом влияет температура на скорость радикальной, анионной и катионной полимеризации?
56. Какие основные допущения используют при выводе уравнения скорости катионной полимеризации? Выведите это уравнение.
57. Какие катализаторы (инициаторы) используются в катионной и анионной полимеризации?
58. Что такое «живые» цепи? Каковы особенности полимеризации на «живых» цепях? Приведите примеры полимеров, которые могут быть получены этим методом.
59. Какова роль среды в анионно-координационной полимеризации диенов?
60. Перечислите типы реакций поликонденсации.
61. Какова роль низкомолекулярного продукта при получении полимеров поликонденсационным методом? Какие факторы влияют на молекулярную массу полимеров, полученных методом ступенчатой полимеризации?
62. Охарактеризуйте методы термического анализа, применяемые для изучения процессов деструкции полимеров. Каким образом обычно представляются результаты экспериментов?
63. Какие из приведенных ниже полимеров деполимеризуются при термической деструкции? Напишите формулу звена каждого из них.
64. Покажите роль реакций передачи цепи при деструкции полиэтилена.
65. В чем заключается поворотнo-изомерный механизм гибкости полимерной цепи?
66. Какова природа обратимой деформации каучуков?
67. Перечислите признаки высокоэластической деформации.

68. Что такое вязкоупругость? За какой особый комплекс свойств, присущих полимерным материалам он ответственен?
69. В чем заключается сущность осмометрического метода определения молекулярной массы полимеров?
70. Что такое второй вириальный коэффициент? Как его можно определить экспериментально?
71. Каким образом можно оценить размер макромолекулы методом вискозиметрии?
72. Что такое коэффициент набухания макромолекулярного клубка?
73. Какова природа вынужденно-эластической деформации?
74. Что такое прочность материала? Предложите практические пути повышения прочности полимерных материалов.
75. Что такое долговечность материала? От каких факторов она зависит?

Опишите механизм разрушения полимеров.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Высокий уровень владения материалом. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнены все задания. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами. Проявлены отличные способности применять знания и умения к выполнению конкретных задач. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнена большая часть заданий, допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с

Оценка	Критерии оценивания
	некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения при решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить полноту знаний и наличие навыков и умений вследствие отказа обучающегося от ответа.

#### 5.1.5 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

1. Приготовить 20 мл раствора инициатора в метилметакрилате (стироле) с концентрацией  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Методом разбавлений из этого раствора приготовить растворы с концентрациями инициатора  $0.8 \cdot 10^{-2}$ ,  $0.6 \cdot 10^{-2}$  и  $0.2 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Для каждой концентрации инициатора измерить скорость полимеризации при 70°C. Определить порядок реакции по инициатору при полимеризации мономера в массе.
2. Приготовить 20 мл раствора инициатора мономере с концентрацией  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Провести полимеризацию при температурах 65, 70, 75 и 80°C. Определить суммарную энергию активации радикальной полимеризации в массе, рассчитать энергию активации стадии инициирования.
3. Приготовить 20 мл раствора инициатора ДАК в мономере с концентрацией  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Методом разбавлений приготовить растворы ТЕМПО с концентрациями  $2 \cdot 10^{-4}$ ,  $4 \cdot 10^{-4}$  и  $6 \cdot 10^{-4}$  моль/л из раствора с концентрацией  $2 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Провести полимеризацию при температуре 70°C, измерить скорость процесса и определить продолжительность индукционного периода. Определить скорость инициирования радикальной полимеризации методом ингибированной полимеризации, рассчитать эффективность инициирования, отношение .
4. Провести синтез вспененного полиуретана путем реакции диизоцианата и полиола, определить время гелеобразования, кажущуюся плотность образующегося полимера.

#### 5.1.6 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-6:

1. Вискозиметрическим методом определить характеристическую вязкость полиметилметакрилата в хорошем и q-растворителе. Рассчитать средневязкостную молекулярную массу полимера, среднеквадратичное расстояние между концами цепи, средний радиус инерции, фактор набухания в хорошем растворителе, контурную длину цепи, термодинамический сегмент Куна.

2. Определить температуру стеклования следующих образцов полимеров: полиметилметакрилата с различным количеством пластификатора, сополимеров полиметилметакрилата с бутилакрилатом и метилакрилатом. Сделать вывод об изменении температуры стеклования при увеличении содержания пластификатора и алкилакрилата в сополимере.
3. Получить поливинилхлоридные композиции по пластизольной технологии различного состава с использованием в качестве наполнителя талька, мела, глины, аэросила, лигнина.
4. Провести физико-механические испытания поливинилхлоридных композиций, определить предел прочности и эластичности, испытать композиции на многократный изгиб, упругий отскок.
5. Определить энергию активации термоокислительной деструкции полиметилметакрилата, сравнить полученное значение с литературными данными.
6. Изучить кинетику деструкции полиметилметакрилата и полибутилакрилата в присутствии стабилизатора хлорида цинка. Сделать вывод о роли хлорида цинка при термическом распаде полиметакрилатов. Обсудить реакции деструкции полиметакрилатов в присутствии хлорида цинка.
7. Изучить кинетику деструкции полиметилметакрилата, содержащего в макромолекулах полимера звенья метакриловой кислоты. Обсудить механизм стабилизирующего действия метакриловой кислоты при распаде полиметилметакрилата, привести соответствующие химические реакции.
8. Определить изоэлектрическую точку желатины путем измерения светопропускания их растворов с различными значениями pH.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Высокий уровень владения материалом. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнены все задания. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами. Проявлены отличные способности применять знания и умения к выполнению конкретных задач. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.

Оценка	Критерии оценивания
	Правильно выполнена большая часть заданий, допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения при решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить полноту знаний и наличие навыков и умений вследствие отказа обучающегося от ответа.

### 5.1.7 Типовые задания (оценочное средство - Реферат) для оценки сформированности компетенции ОПК-6:

Основные представители полимеров. Синтез, свойства, применение:

Полиэтилен

Полипропилен

Полистирол

Поливинилхлорид

Поливинилацетат

Полиметилметакрилат и полиметилакрилат

Полиакриловая и полиметакриловая кислоты

Полибутадиен, полиизопрен

Полиуретаны

Полиамиды

**Критерии оценивания (оценочное средство - Реферат)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Понятийный аппарат освоен в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы. Продемонстрирован достаточный уровень освоения навыков для решения отдельных задач профессиональной деятельности. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли.
не зачтено	Значительные пробелы в знаниях основного материала. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Неумение формулировать свои мысли или невозможно оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

**5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации****Шкала оценивания сформированности компетенций**

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными недочетами, выполнены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задание 1. Основные макромолекулярные характеристики: средние молекулярные массы и молекулярно-массовое распределение. Типы конфигурационной изомерии (химическая изомерия звеньев, цис-транс-изомерия, стереоизомерия).

Задание 2. Инициирование радикальной полимеризации. Типы инициаторов. Эффективность инициирования. Причины отклонения эффективности инициирования от 1.



Задание 3. Кинетическая схема радикальной полимеризации. Вывод уравнения скорости радикальной полимеризации. Анализ уравнения.

Задание 4. Кинетическая схема радикальной полимеризации. Вывод уравнения степени полимеризации. Определение относительных констант передачи цепи, отношения.

Задание 5. Реакции передачи цепи при радикальной полимеризации. Передача цепи на инициатор. Передача цепи на мономер. Деградационный перенос цепи. Определение относительных констант передачи цепи.

Задание 6. Регуляторы молекулярной массы. Классы соединений. Значение и применение регуляторов молекулярной массы. Определение относительных констант передачи цепи.

Задание 7. Ингибирование и регулирование радикальной полимеризации. Сильные и слабые ингибиторы (замедлители). Примеры. Индукционный период. Определение скорости инициирования методом ингибирования.

Задание 8. Термодинамика радикальной полимеризации. Полимеризационно-деполимеризационное равновесие. Предельная температура полимеризации. Равновесная концентрация мономера.

Задание 9. Катионная полимеризация. Мономеры, способные вступать в катионную полимеризацию. Катализаторы и сокатализаторы. Рост и ограничение роста цепей при катионной полимеризации.

Задание 10. Анионная полимеризация. Мономеры, способные вступать в анионную полимеризацию. Катализаторы анионной полимеризации. Иницирование, рост и ограничение роста цепей при анионной полимеризации. "Живые цепи".

Задание 11. Поликонденсация. Основные кинетические закономерности. Уравнение Карозерса. Сшитые и разветвленные полимеры. Точка гелеобразования.

Задание 12. Деструкция полимеров.

Задание 13. Свободно-сочлененная цепь – модель идеально гибкой макромолекулы. Идеальный гауссов клубок, характеристики его размеров: среднеквадратичное расстояние между концами цепи ( $\langle R^2 \rangle^{1/2}$ ), среднеквадратичный радиус инерции ( $\langle S^2 \rangle^{1/2}$ ) (вывод). Контурная длина цепи. Распределение по размерам, распределение по плотности звеньев в клубке.

Задание 14. Реальные цепи. Размеры реальных цепей ( $\langle R^2 \rangle^{1/2}$ ,  $\langle S^2 \rangle^{1/2}$ ). Эффект исключенного объема. Набухание клубка.

Задание 15. Зависимость размеров клубка от концентрации полимера и температуры. Теорема Флори.

Задание 16. Понятие о сегменте. Термодинамический (статистический, Куна) сегмент, кинетический сегмент, механический сегмент. Расчет размеров сегмента.

Задание 17. Гибкость цепи. Поворотный-изомерный механизм. Количественные характеристики гибкости. Термодинамическая и кинетическая гибкость. Размеры и гибкость жесткоцепных полимеров. Персистентная длина.

Задание 18. Упругость идеального клубка. Природа упругой силы. Зависимость модуля упругости от температуры. Тепловые эффекты при деформации.

Задание 19. Вязкоупругость. Модель Максвелла. Релаксация напряжения. Вывод уравнения.

Задание 20. Принципы расчета энтропии и энтальпии смешения. Параметр растворимости Гильдебранда. Значение. Методы определения.

Задание 21. Теория Флори-Хаггинса. Основные представления

Задание 22. Осмотическое давление растворов полимеров. Количественные характеристики термодинамического качества растворителя

Задание 23. Истинные растворы полимеров. Особенности. Ограниченная растворимость. Фазовые диаграммы. Правило фаз Гиббса

Задание 24. Набухание полимеров. Гели

Задание 25. Вязкость разбавленных растворов полимеров. Уравнение Хаггинса. Характеристическая вязкость. Уравнение Марка-Куна-Хаувинка

Задание 26. Стереорегулярные полимеры. Кристаллизация, кристаллические образования (особенности).

Задание 27. Термомеханическая кривая. Стеклообразное состояние. Вынужденно-эластическая деформация

Задание 28. Три физических состояния аморфных полимеров. Влияние молекулярной массы на температуры переходов. Пластификация

Задание 29. Стеклообразное состояние полимеров. Теории стеклования

Задание 30. Деформационные свойства полимеров. Ориентация

Задание 31. Механизм разрушения полимеров. Долговечность. Формула Журкова

Задание 32. Вязкость разбавленных растворов полимеров. Уравнение Эйнштейна. Его универсальность. Уравнение Флори-Фокса. Значение

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2**

Задание 1. Радикальная полимеризация на глубоких степенях превращения. Гель-эффект. Модель обрыва цепи. Уравнение Зубова-Емельянова. Приемы подавления гель-эффекта.

Задание 2. Способы проведения радикальной полимеризации. Особенности эмульсионной полимеризации.

Задание 3. Радикальная сополимеризация. Кинетическая схема модели концевой звена. Уравнение состава сополимера

Задание 4. Относительные активности мономеров. Физический смысл. Кривые состава сополимера.

Задание 5. Реакционная способность мономеров и радикалов. Стерический, полярный, резонансный фактор. Активные мономеры и неактивные. Правило антибатности. Схема Q-e Алфрея-Прайса.

Задание 6. Соплимеризация на глубоких степенях превращения. Композиционная неоднородность

Задание 7. Ионно-координационная полимеризация. Полимеризация диенов на алкилах металлов. Полимеризация на катализаторах Циглера-Натта.

Задание 8. Поликонденсация. Типы реакций поликонденсации. Равновесная и неравновесная поликонденсация. Роль побочного низкомолекулярного продукта.

### **5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-6**

1. Напишите основные реакции, которые ответственны за то, что эффективность инициирования меньше 1 при полимеризации стирола в присутствии пероксида бензоила.
2. Какие из приведенных ниже веществ можно использовать в качестве регуляторов молекулярной массы при радикальной полимеризации винилацетата: персульфат

аммония, ацетон, четырехбромистый углерод, гидрохинон, 2,6-дипрет.бутил-4-метилфенол, изопропиловый спирт, циклогексан, децилмеркаптан.

3. Какова средняя эффективность инициирования динитрилом азоизомасляной кислоты, если при полимеризации в присутствии 0.01 моль этого инициатора получен полимер, содержащий на концах макромолекул 0.012 моль осколков этого инициатора, а степень превращения инициатора составляет 80%?
4. Напишите реакции передачи цепи при полимеризации стирола на  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CBr}_4$ , хлороформ, *n*-бутилмеркаптан, *n*-пропиловый спирт, изопропиловый спирт, бензол, этилбензол. Расположите растворители в порядке увеличения их реакционной способности в реакции передачи цепи. Ответ поясните.
5. Обсудите влияние активности мономера и радикала на наблюдаемую активность реакций радикала с мономером. В каком порядке можно расположить следующие мономеры на основании их активности: стирол, винилацетат, метилметакрилат, акрилонитрил? В каком порядке изменяется активность радикалов, образующихся из соответствующих мономеров?

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Высокий уровень владения материалом. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнены все задания. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами. Проявлены отличные способности применять знания и умения к выполнению конкретных задач. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Правильно выполнена большая часть заданий, допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.

Оценка	Критерии оценивания
	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения при решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить полноту знаний и наличие навыков и умений вследствие отказа обучающегося от ответа.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### Основная литература:

1. Семчиков Юрий Денисович. Высокомолекулярные соединения : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности 011000 "Химия" и направлению 510500 "Химия". - 3-е изд., стер. - М. : Академия, 2006. - 368 с. - (Высшее профессиональное образование. Естественные науки). - ISBN 5-7695-3028-6 : 250.69., 48 экз.
2. Семчиков Юрий Денисович. Введение в химию полимеров : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению ВПО 020100 "Химия" и специальности 020201 "Фундам. и прикладная химия". - СПб. : Лань, 2012. - 224 с. : ил. - (Учебники для вузов) (Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1325-6 : 399.96., 98 экз.
3. Киреев Вячеслав Васильевич. Высокомолекулярные соединения : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Хим. технология высокомолекулярных соединений". - М. : Высшая школа, 1992. - 512 с. - 300.00., 25 экз.
4. Высокомолекулярные соединения : Учебник и практикум для вузов / под ред. Зезина А.Б. - Москва : Юрайт, 2021. - 340 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-01322-1. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=765618&idb=0>.

### Дополнительная литература:

1. Киреев В. В. Высокомолекулярные соединения в 2 ч. Часть 1 : учебник / В. В. Киреев. - Москва : Юрайт, 2023. - 365 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-03986-3. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=844676&idb=0>.
2. Киреев В. В. Высокомолекулярные соединения в 2 ч. Часть 2 : учебник / В. В. Киреев. - Москва : Юрайт, 2023. - 243 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-13615-9. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=845616&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<http://www.pslc.ws/russian/index.htm>

<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/lachinov/welcome.html>

<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/lachinov-basic/welcome.html>

<https://biblio-online.ru/book/D70F2822-28CC-446A-A5E4-F38CEE702A7E>

<https://biblio-online.ru/book/44521F55-0BB6-49C4-8390-38A6BE9B6C42>

<https://biblio-online.ru/book/3D18372E-9FFD-4ACF-AB4F-5DB140F0260F>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Аналитические весы, разрывная машина, консистомер Геппера, термовесы, сушильный шкаф, вискозиметр Убеллоде

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по специальности 04.05.01 - Фундаментальная и прикладная химия.

Автор(ы): Зайцев Сергей Дмитриевич, доктор химических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Зайцев Сергей Дмитриевич, доктор химических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.09.2023 г., протокол № 1.