

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 Ученого совета ННГУ  
протокол № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Псевдоживая радикальная полимеризация

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
04.04.01 - Химия

---

Направленность образовательной программы  
Химия высокомолекулярных соединений

---

Форма обучения  
очная, очно-заочная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03.ДВ.02.02 Псевдоживая радикальная полимеризация относится к части, формируемой участниками образовательных отношений 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          |
| <i>ПК-1-н: Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках</i> | <i>ПК-1-н-1: Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий<br/>ПК-1-н-2: Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов</i> | <i>ПК-1-н-1:<br/>Владеть основами номенклатуры и классификации полимеров; способами их синтеза методами псевдоживой радикальной полимеризацией<br/><br/>Уметь устанавливать взаимосвязь кинетических параметров с молекулярной массой образующихся полимеров.<br/><br/>Знать задачи и объекты исследования науки о полимерах, ее междисциплинарных связях; основы науки о полимерах и области ее практического использования.<br/><br/>ПК-1-н-2:<br/>Владеть современными технологиями получения полимеров и сополимеров различной молекулярной архитектуры методами псевдоживой радикальной полимеризации; методами вискозиметрии и гель-проникающей хроматографии определения молекулярной массы полимеров и сополимеров.</i> | <i>Опрос<br/>Реферат</i>           | <i>Зачёт:<br/>Контрольные вопросы</i> |

|  |  |  |       |  |
|--|--|--|-------|--|
|  |  | <p>Уметь синтезировать (со)полимеры и получать композиционные полимерные материалы</p> <p>Знать методы получения полимеров реакциями полимеризации</p>   |       |  |
| <p>ПК-2-н: Способен проводить информационные исследования в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках</p> | <p>ПК-2-н-1: Проводит поиск специализированной информации в информационных базах данных</p> <p>ПК-2-н-2: Анализирует и обобщает результаты поиска по тематике проекта в области органической химии и/или смежных с химией науках</p> | <p>ПК-2-н-1:</p> <p>Владеть навыками поиска, обобщения, структуризации информации с использованием информационно-коммуникационных технологий.</p> <p>Уметь проводить отбор необходимых источников, их анализ и структуризацию информации.</p> <p>Знать основные принципы поиска, обобщения и анализа информации в области химии полимеров.</p> <p>ПК-2-н-2:</p> <p>Владеть элементарными методами научного поиска и интеллектуального анализа научной информации при решении новых задач.</p> <p>Уметь осуществлять анализ научно-технической информации, полученной из отечественных и зарубежных источников и литературы, в том числе посвященных химии полимеров.</p> <p>Знать элементарные логические методы и приемы научного исследования.</p> | Опрос | <p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> |

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

|  |       |              |
|--|-------|--------------|
|  | очная | очно-заочная |
|--|-------|--------------|

|  |                   |                   |
|--|-------------------|-------------------|
| <b>Общая трудоемкость, з.е.</b>  | <b>3</b>          | <b>3</b>          |
| <b>Часов по учебному плану</b>   | <b>108</b>        | <b>108</b>        |
| в том числе  |                   |                   |
| <b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>                           |                   |                   |
| - занятия лекционного типа   | <b>32</b>         | <b>36</b>         |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | <b>32</b>         | <b>36</b>         |
| - КСР  | <b>1</b>          | <b>1</b>          |
| <b>самостоятельная работа</b>  | <b>43</b>         | <b>35</b>         |
| <b>Промежуточная аттестация</b>  | <b>0</b><br>зачёт | <b>0</b><br>зачёт |

### 3.2. Содержание дисциплины

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

| Наименование и краткое содержание 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  | з                        | о   | з  | о  | з     | о  | з  | о  | з   |    |
| Общие закономерности псевдоживой радикальной полимеризации   | 11                       | 13  | 2  | 4  | 2     | 4  | 4  | 8  | 7   | 5  |
| Полимеризация с обратимым ингибированием стабильными радикалами по механизму – диссоциация-рекомбинация      | 32                       | 34  | 10   | 12 | 10    | 12 | 20 | 24 | 12  | 10 |
| Псевдоживая радикальная полимеризация с переносом атома  | 32                       | 30  | 10   | 10 | 10    | 10 | 20 | 20 | 12  | 10 |
| Полимеризация в условиях обратимой передачи цепи по механизму присоединения-фрагментации (ОПЦ-полимеризация) | 32                       | 30  | 10   | 10 | 10    | 10 | 20 | 20 | 12  | 10 |
| Аттестация   | 0                        | 0   |  |    |       |    |    |    |   |    |
| КСР  | 1                        | 1   |  |    |       |    | 1  | 1  |   |    |
| Итого  | 108                      | 108 | 32   | 36 | 32    | 36 | 65 | 73 | 43  | 35 |

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

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

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

Иные учебно-методические материалы: -

### 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 - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н**

1. Какие основные приемы управления молекулярной массой полимеров вы знаете?

2. Что такое «гель-эффект»? Какие существуют способы его подавления?
3. Что такое композиционная неоднородность сополимеров как один из факторов, определяющих свойства продуктов?
4. Какие приемы радикальной полимеризации называются «псевдоживыми»?

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н

1. Приведите общую классификацию механизмов псевдоживой радикальной полимеризации.
  2. Охарактеризуйте полимеризацию стирола, инициированную алкоксиаминами. Каковы кинетические закономерности этого процесса?
  3. Какова роль побочных реакций при полимеризации с обратимым ингибированием?
  4. В чем заключается механизм полимеризации, инициированной «радикальными» инициаторами, в присутствии нитроксильных радикалов?
  5. Опишите общий механизм ATRP полимеризации. Какова роль различных компонентов в ATRP (инициаторы, переходные металлы, лиганды)?
  6. Опишите общий механизм ОПЦ полимеризации. Что такое эффективность ОПЦ-агента?
  7. Какие преимущества и недостатки имеют каждый прием псевдоживой радикальной полимеризации?
  8. Как можно использовать псевдоживую радикальную полимеризацию для получения сложных макромолекулярных структур?
1. Какие из приведенных каталитических систем можно использовать для полимеризации стирола методом псевдоживой радикальной полимеризации и по какому механизму.

|                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Динитрил азоизомасляной кислоты | CuBr/PhCH <sub>2</sub> Br/бипирилин |
| Бензилдителиобезоат             | ТЕМПО                               |
| Дибензилтретиокарбонат          | персульфат калия                    |
| реактив Фентона                 | NaNH <sub>2</sub>                   |
| натрий + нафталин               | HCl                                 |

10. Образец полиметилметакрилата состоит из ряда фракций:

| № фракции | Масса фракции, г | Молекулярная масса фракции $M_i \cdot 10^{-3}$ |
|-----------|------------------|--|
| 1         | 26               | 10   |
| 2         | 70               | 20   |
| 3         | 110              | 30   |
| 4         | 130              | 40   |
| 5         | 128              | 50   |
| 6         | 100              | 60   |
| 7         | 68               | 70   |
| 8         | 44               | 80   |
| 9         | 26               | 90   |
| 10        | 14               | 100  |

Вычислите среднечисловую, среднемассовую молекулярные массы и параметр полидисперсности. Постройте дифференциальную и интегральную (числовую и массовую) кривые молекулярно-массового распределения.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

| 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 |

| Оценка     | Критерии оценивания  |
|------------|--|
|            | 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. |

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Реферат) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н

1. Реакции присоединения-фрагментации в синтезе полимеров.
2. Получение градиентных сополимеров методами псевдоживой радикальной полимеризации.
3. Синтетические подходы к получению агентов ОПЦ.
4. Одновременный контроль молекулярно-массового распределения и мактичности в радикальной полимеризации.
5. Использование псевдоживой радикальной полимеризации в синтезе сверхразветвленных полимеров.
6. Применение метода ЭПР для изучения кинетики и механизма ОПЦ-полимеризации.
7. Самоорганизация макромолекул, полученных методами псевдоживой радикальной полимеризации.
8. Металлоорганические соединения в псевдоживой радикальной полимеризации.

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

| Оценка     | Критерии оценивания  |
|------------|--|
| зачтено    | Реферат, презентация написаны в соответствии с предъявляемыми требованиями, основные разделы по теме реферата раскрыты. Защита показала владение информацией по теме реферата. Получены ответы на дополнительные вопросы с несущественным недочетами.                      |
| не зачтено | При написании реферата и презентации не выполнены предъявляемые требования, тема реферата не раскрыта. Защита показала отсутствие понимания материала. Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. Не получены ответы на дополнительные вопросы |

### 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                          | Минимальный 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 отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <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 | <b>превосходно</b>       | 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 |
|         | <b>отлично</b>           | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».  |
|         | <b>очень хорошо</b>      | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»  |
|         | <b>хорошо</b>            | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».   |
|         | <b>удовлетворительно</b> | 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

#### 5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

##### Оценочное средство - Контрольные вопросы

##### Зачёт

##### Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Зачёт)

| Оценка     | Критерии оценивания  |
|------------|--|
| зачтено    | Знание основного содержания разделов дисциплины, допускаются неточности, нарушения в последовательности изложения материала. Правильное применение теоретических знаний для решения практических задач. Допускаются незначительные ошибки в решении расчетных задач. |
| не зачтено | Не знает значительной части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов. Не может решать простые основные расчетные и качественные задачи.   |

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Зачёт) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н (Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках)**

- Задание 1. Инициирование, рост и обрыв цепей при анионной полимеризации. "Живые" цепи.  
 Задание 2. Общая кинетическая схема радикальной полимеризации.  
 Задание 3. Сопоставление радикальной и анионной полимеризации.  
 Задание 4. Псевдоживая радикальная полимеризация. История возникновения и развитие данного научного направления.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Зачёт) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н (Способен проводить информационные исследования в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках)**

- Задание 1. Общая классификация механизмов псевдоживой радикальной полимеризации.  
 Задание 2. Строение и реакционная способность нитроксильных радикалов.

- Задание 3. Полимеризация стирола, инициированная алкоксиаминами. Кинетические закономерности процесса.
- Задание 4. Роль побочных реакций при полимеризации с обратимым ингибированием.
- Задание 5. Кинетика и механизм полимеризации, инициированной "радикальными" инициаторами, в присутствии нитроксильных радикалов.
- Задание 6. Полимеризация виниловых мономеров в присутствии нитроксильных радикалов, образующихся непосредственно в полимеризационной системе.
- Задание 7. Кинетика ATRP, катализируемая комплексами меди (I).
- Задание 8. Роль различных компонентов в ATRP (мономеры, инициаторы, переходные металлы, лиганды).
- Задание 9. Реакции передачи цепи в радикальной полимеризации
- Задание 10. Понятие об эффективности ОПЦ-агента. Экспериментальное определение CS.
- Задание 11. Образование радикальных интермедиатов при ОПЦ-полимеризации.
- Задание 12. Особенности кинетики ОПЦ-полимеризации.
- Задание 13. Использование псевдоживой радикальной полимеризации в макромолекулярном дизайне.
- Задание 14. Перспективы применения псевдоживой радикальной полимеризации в промышленных условиях.

## **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. Высокомолекулярные соединения : учебник и практикум / М. С. Аржаков [и др.] ; под редакцией А. Б. Зезина. - Москва : Юрайт, 2023. - 340 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-01322-1. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=845117&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. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-03988-7. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=847886&idb=0>.

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

- <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/lachinov/welcome.html>  
<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/lachinov-basic/welcome.html>  
<http://www.unn.ru/pages/issues/aids/2007/70.pdf>

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

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, специализированным оборудованием: вытяжные шкафы, химическая посуда общего и специального назначения, термостаты, сушильные шкафы, вакуумные насосы, колбонагреватели, высокочастотный титратор, ротационный испаритель, перемешивающие устройства, дистиллятор, технические и аналитические весы, центрифуга, фурье-ИК спектрометр Инфралюм ФТ-801, УФ спектрометр Shimadzu UV 1650 PC, гель-проникающий хроматограф Prominence LC-20VP («Shimadzu»), газовый хромато-масс-спектрометр QP-2010Plus (Shimadzu, Япония) с многоцелевым пиролизером EGA/PY3030D

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 направлению 04.04.01 - 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 25.05.2023 г., протокол № 7.