

УДК 541.64

## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ: ОТ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДИЗАЙНА ДО ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

---

**Джатдоева Диана Тохтаровна,  
Эбзеева Залина Магомедовна,  
Джазаева Залина Аликовна,  
Каракотова Асият Шамилевна**

Статья посвящена обзору современных методов синтеза и молекулярного дизайна органических полимеров, а также их значению в различных областях науки и промышленности. В работе рассматриваются ключевые аспекты создания и модификации полимерных материалов, включая влияние молекулярной массы, структуры полимерных цепей и архитектуры на их физико-химические свойства. Описаны основные методы синтеза полимеров, такие как радикальная, ионная полимеризация и поликонденсация, а также их роль в получении материалов с заданными механическими, термическими и электрическими характеристиками. Особое внимание уделяется развитию полимеров с улучшенными функциональными свойствами, такими как проводимость, оптические и магнитные характеристики, что открывает новые перспективы для применения полимеров в электронике, биомедицине, экологии и других высокотехнологичных отраслях. В статье также подчеркивается важность дальнейшего совершенствования методов синтеза и модификации полимеров для создания инновационных материалов, способных удовлетворять потребности различных отраслей промышленности и науки.

**Ключевые слова:** органические полимеры, синтез полимеров, молекулярный дизайн, функциональные свойства, термостойкость.

---

Химия органических полимеров является одной из наиболее динамично развивающихся областей науки, которая оказывает значительное влияние на различные отрасли промышленности, включая материалы, медицину, электронику и энергетику. В последние десятилетия наблюдается бурное развитие полимерных материалов, что связано с их уникальными свойствами, такими как легкость, прочность, эластичность, а также возможностью модификации для различных функциональных применений. Эти особенности делают органические полимеры неотъемлемой частью множества современных технологических процессов и устройств, от упаковки до высокотехнологичных компонентов в области медицинских и электронных технологий.

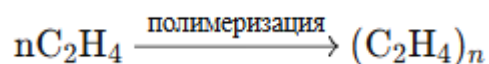
Актуальность исследования химии органических полимеров сегодня сложно переоценить. Во многом именно благодаря полимерам обеспечивается развитие технологий устойчивого производства, экологии и медицины. Применение органических полимеров в таких областях, как биосовместимые материалы, экологически чистые упаковки, а также в электронных устройствах, таких как органические светодиоды (OLED), солнечные батареи, сенсоры и гибкая электроника, позволяет существенно улучшить качество жизни и увеличить функциональность множества современных устройств. В связи с этим, глубокое понимание молекулярной структуры полимеров, а также изучение их физико-химических свойств, синтеза и модификации, является необходимым для разработки новых материалов с уникальными характеристиками, отвечающих требованиям современной науки и технологий.

Цель данной статьи – рассмотреть основные аспекты химии органических полимеров, начиная от молекулярного дизайна до практических применений. В частности, статья будет посвящена изучению методов синтеза и модификации полимеров, влиянию молекулярного

массы и структуры на их свойства, а также применению органических полимеров в различных областях. Также будет рассмотрен ряд инновационных технологий и трендов в разработке новых полимерных материалов, которые могут стать основой для решения множества научных и технологических задач. Задачи статьи включают в себя обзор существующих подходов к молекулярному дизайну полимеров, описание методов их синтеза, а также анализ перспективных направлений их применения в медицине, экологии, энергетике и других отраслях.

Молекулярный дизайн органических полимеров представляет собой процесс, в котором особое внимание уделяется точной настройке структуры полимерной цепи на молекулярном уровне для получения материалов с заданными свойствами. Основные принципы молекулярного дизайна полимеров включают выбор мономеров, определение их комбинаций, создание подходящей архитектуры молекулы и учет влияния этих факторов на физико-химические характеристики полимера [3, с. 42].

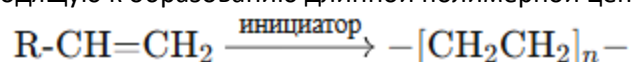
Основой каждого полимера является мономер – молекула, из которой полимерная цепь строится через процесс полимеризации. Состав и структура мономеров определяют как механические, так и химические свойства получаемого полимера. Например, полимеризация этилена приводит к образованию полиэтилена  $(C_2H_4)_n$ , линейного полимера с высокой плотностью и хорошей термостойкостью.



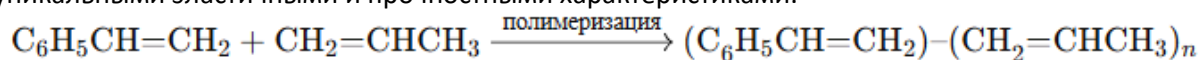
Выбор мономеров, содержащих различные функциональные группы, позволяет придавать полимерам разнообразные свойства. Например, полимеры, полученные из мономеров с эпоксидной группой (например, эпоксидный олигомер), могут быть использованы для создания термореактивных полимеров с высокой жесткостью и прочностью. В то время как мономеры с полиэфирной или полиамидной группой могут создавать материалы, обладающие высокой устойчивостью к воздействию влаги и химическим веществам.

Основными методами синтеза органических полимеров являются различные виды полимеризации, такие как радикальная, ионная, а также поликонденсация. Каждый из этих методов позволяет контролировать молекулярную массу, структуру и функциональные свойства конечного полимера.

**Полимеризация:** в процессе радикальной полимеризации мономеры с двойной связью (например, этилен или стирол) подвергаются воздействию инициатора, который запускает цепную реакцию, приводящую к образованию длинной полимерной цепи:



**Копрполимеризация:** этот метод используется для получения полимеров, состоящих из двух или более различных мономеров. Примером может служить копрполимеризация стирола с бутадиеном, в результате чего получают бутадиен-стирольные каучуки, обладающие уникальными эластичными и прочностными характеристиками.



**Сополимеризация:** этот процесс представляет собой полимеризацию двух или более мономеров, образующих полимерную цепь. Примером является синтез термопластичных полиуретанов, получаемых из изоцианатов и полиолов.

Архитектура полимерных цепей существенно влияет на их свойства. На молекулярном уровне можно различать несколько типов архитектуры: линейные, разветвленные и сетчатые структуры.

**Линейные полимеры:** в линейных полимерах молекулы представляют собой длинные цепочки, где каждый мономер соединен с двумя соседними. Примером линейного полимера является полиэтилен, который отличается высокой прочностью на растяжение и хорошими механическими характеристиками.

**Разветвленные полимеры:** в этих полимерах молекулы представляют собой цепи с боковыми ответвлениями. Разветвленная структура увеличивает вязкость полимера и может

улучшить его термопластичность и эластичность. Например, полипропилен с разветвленной структурой применяется в производстве упаковок и контейнеров.

**Сетчатые полимеры:** Сетчатые полимеры представляют собой трехмерные сети, где полимерные цепи соединены между собой химическими связями. Эти структуры обладают высокой прочностью и термостойкостью, но, как правило, они не плавятся и не могут быть переработаны. Примером сетчатого полимера является бакелит – первый синтетический термореактивный пластик [5, с. 90].

Таким образом, молекулярный дизайн полимеров основывается на целенаправленном выборе мономеров, методов синтеза и архитектуры, что позволяет контролировать их физико-химические свойства. Эти параметры влияют на применимость полимеров в различных отраслях, от упаковки до высокотехнологичных устройств.

Физико-химические свойства органических полимеров играют ключевую роль в их применении в различных областях. Эти свойства зависят от молекулярной структуры, молекулярной массы, распределения молекулярных масс и архитектуры полимерной цепи. Рассмотрим наиболее важные из них.

#### **Влияние молекулярной массы и распределения молекулярных масс на свойства полимеров**

Молекулярная масса полимера и распределение молекулярных масс оказывают прямое влияние на его механические, термические и растворимые свойства. Молекулярная масса (или степень полимеризации) характеризует количество мономерных единиц в полимерной цепи. Полимеры с высокой молекулярной массой обычно обладают повышенной прочностью и вязкостью. Например, полиэтилен высокой плотности (HDPE) имеет большую молекулярную массу, что делает его более прочным и термостойким, чем полиэтилен низкой плотности (LDPE) [1, с. 36].

Распределение молекулярных масс, которое представляет собой вариацию молекулярной массы в образце полимера, также существенно влияет на его свойства. В идеале, полимеры с узким распределением молекулярных масс имеют предсказуемое поведение, но в реальности большинство полимеров имеют широкое распределение, что может влиять на их механические и термические характеристики. Например, для полимеров, используемых в производстве пленок или волокон, важен баланс между прочностью и эластичностью, который зависит от молекулярной массы и ее распределения.

#### **Структурно-механические характеристики: прочность, жесткость, эластичность**

Прочность, жесткость и эластичность – это основные механические характеристики полимеров, которые определяют их использование в тех или иных областях. Прочность на разрыв и сдвиг характеризуют способность материала сопротивляться внешним воздействиям, а жесткость – способность материала сопротивляться деформации при приложении внешней силы. Эластичность отражает способность полимера восстанавливать свою форму после снятия нагрузки.

Для повышения прочности и жесткости полимеров часто используют различные методы модификации. Например, введение наполнителей, таких как углеродные нанотрубки или графен, может существенно повысить прочностные характеристики полимерных материалов, сохраняя их при этом относительно низкую плотность.

Эластичность полимеров зависит от их молекулярной структуры. Линейные полимеры, такие как полиэтилен, обладают хорошей эластичностью, в то время как более жесткие сетчатые полимеры, например, эпоксидные смолы, проявляют высокую прочность, но ограниченную эластичность.

#### **Термодинамические и термические свойства: температура стеклования, плавления, термостойкость**

Температура стеклования ( $T_g$ ) и температура плавления ( $T_m$ ) – это важнейшие термодинамические свойства полимеров, определяющие их термическую устойчивость и поведение при изменении температуры. Температура стеклования – это температура, при которой аморфный полимер переходит из жесткого, хрупкого состояния в более мягкое, эластичное. Например, полиэтилен имеет низкую температуру стеклования, что делает его мягким и гибким при комнатной температуре.

Температура плавления – это температура, при которой полимер из твердого состояния переходит в жидкое. Она характерна для кристаллических полимеров, таких как полиэтилен высокой плотности. Термостойкость полимеров, то есть их способность сохранять свои свойства при высоких температурах, также играет важную роль в их применении в горячих средах, например, в автомобильной промышленности или производстве электроники [8, с. 73].

Органические полимеры обладают также интересными электрическими, оптическими и магнитными свойствами, которые делают их актуальными для использования в электронике, фотонике и других высокотехнологичных областях.

- электрические свойства полимеров зависят от их способности проводить электрический ток. Применение проводящих полимеров, таких как полипиррол или полифениленвинил, позволяет создавать гибкую электронику и сенсоры. Для этих материалов важна их способность проводить электроны или ионы, что возможно благодаря специально введенным функциональным группам;

- оптические свойства полимеров включают их способность поглощать или пропускать свет, что важно для создания органических светодиодов (OLED) или оптоволоконных материалов. Полимеры с определенными хромофорами могут использоваться для создания полимерных лазеров или фоточувствительных материалов;

- магнитные свойства полимеров, несмотря на то что они менее распространены, также имеют значение для разработки нанокмпозитов, включающих магнитные частицы. Эти материалы могут быть использованы для разработки сенсоров и других устройств, чувствительных к магнитным полям.

Современные методы синтеза органических полимеров позволяют точно контролировать структуру и свойства полимерных материалов. Основными методами являются радикальная полимеризация, ионная полимеризация, поликонденсация и поликополимеризация, каждый из которых имеет свои особенности и области применения:

- радикальная полимеризация – один из наиболее распространенных методов синтеза полимеров, в котором используется инициатор для образования свободных радикалов. Этот метод используется для синтеза полимеров, таких как полиэтилен, полистирол, и акрилаты. Радикальная полимеризация позволяет контролировать молекулярную массу полимера, а также получить полимеры с хорошими механическими свойствами;

- ионная полимеризация – метод, при котором полимеризация происходит с участием ионов, что позволяет получать полимеры с более узким распределением молекулярных масс. Этот метод используется для синтеза полимеров, таких как полибутадиен и полистирол с заданной структурой;

- поликонденсация – метод, при котором полимеризация происходит с образованием побочных продуктов (обычно воды или спирта). Этот метод используется для синтеза термореактивных полимеров, таких как полиамиды и полиэфиры, которые имеют высокую термостойкость и прочность;

- поликополимеризация – процесс, в котором используются два или более различных мономера для создания полимеров с различными свойствами. Примером является копрполимеризация стирола и бутадиена для получения термопластичных эластомеров [2, с. 92].

Для улучшения свойств полимеров широко применяются различные методы модификации, такие как внедрение функциональных групп, кросс-связывание и создание нанокмпозитов:

- внедрение функциональных групп позволяет полимеризовать полимеры с заданными химическими свойствами. Например, добавление аминогрупп или карбоксильных групп может улучшить взаимодействие полимеров с различными веществами и улучшить их совместимость с другими материалами;

- кросс-связывание создаёт трехмерную сеть в структуре полимера, что повышает его жесткость и термостойкость. Примером является создание термореактивных пластиков, таких как эпоксидные смолы;

- создание нанокомпозитов – это внедрение наночастиц, таких как углеродные нанотрубки или графен, в структуру полимера для улучшения его механических и электрических свойств. Это направление открывает новые возможности для создания материалов с уникальными характеристиками.

Современные тенденции в области синтеза полимеров направлены на создание материалов с заданными и улучшенными характеристиками. Это включает в себя разработку полимеров с улучшенной термостойкостью, химической стойкостью, проводимостью, а также полимеров с высокими механическими свойствами и низкой плотностью. Разработка новых методов синтеза и модификации позволит создавать полимеры, которые могут эффективно использоваться в новых высокотехнологичных отраслях, таких как биомедицина, электроника и энергетика.

Химия органических полимеров является важнейшей и активно развивающейся областью науки, обеспечивающей развитие множества современных технологий и материалов. Изучение и синтез органических полимеров позволяет создавать материалы с уникальными свойствами, которые могут быть использованы в самых разных областях – от медицины и экологии до электроники и энергетики. За последние десятилетия достигнуты значительные успехи в области молекулярного дизайна полимеров, что открыло новые горизонты для их применения в различных сферах. Эти достижения связаны как с улучшением свойств существующих полимеров, так и с созданием совершенно новых, специально разработанных материалов.

Одним из наиболее значимых достижений стало развитие методов синтеза полимеров с заданными свойствами. Современные технологии полимеризации, такие как радикальная, ионная полимеризация и поликонденсация, позволяют контролировать молекулярную массу, структуру и распределение молекулярных масс, что в свою очередь позволяет настраивать механические, термические и химические характеристики полимеров. Например, благодаря развитию копрполимеризации и модификации полимерных цепей удалось значительно расширить область применения этих материалов в таких сферах, как гибкая электроника, биосовместимые материалы для медицины и экологически безопасные упаковочные материалы [9, с. 134].

Использование методов молекулярного моделирования значительно увеличивает вероятность успеха [11, с. 29].

Особое внимание в последние годы уделяется органическим полимерам с улучшенными электрическими, оптическими и магнитными свойствами. Это открывает новые перспективы для разработки органических светодиодов (OLED), полимерных солнечных элементов, а также различных сенсоров и устройств для гибкой электроники. Применение проводящих полимеров стало революционным шагом в электронике и энергетике, поскольку они обладают гибкостью и возможностью интеграции в различные устройства, что невозможно для традиционных металлов и полупроводников. Эти полимеры находят широкое применение в таких устройствах, как органические дисплеи, сенсоры, биомедицинские приборы и устройства для хранения энергии.

Также, органические полимеры играют ключевую роль в развитии экологически чистых технологий. Современные полимеры, такие как биоразлагаемые пластиковые материалы, значительно снижают загрязнение окружающей среды. Разработка новых полимеров, которые могут разлагаться без вредных побочных продуктов, стала важной частью решений, направленных на сокращение воздействия пластика на природу. Применение таких материалов в упаковке и строительстве помогает уменьшить негативное влияние на экосистемы и способствует устойчивому развитию. Однако существует и ряд вызовов, которые необходимо преодолеть для дальнейшего совершенствования полимерных материалов. В частности, необходимо развивать методы синтеза полимеров с высокой функциональностью и устойчивостью к экстремальным условиям, таким как высокая температура, агрессивные химические среды или радиационное воздействие. Важным направлением является создание полимеров с улучшенными механическими свойствами и возможностью самообновления или самовосстановления, что значительно увеличит срок службы материалов и снизит затраты на их обслуживание.

Перспективы будущих исследований в области химии органических полимеров остаются весьма многообещающими. В частности, стоит ожидать дальнейшего развития в области нанокомпозитов, когда полимерные материалы будут интегрированы с наночастицами, что позволит значительно улучшить их характеристики. В ближайшие годы вероятно также увеличение применения интеллектуальных полимеров, способных изменять свои свойства в ответ на внешние стимулы, такие как температура, pH или электрическое поле. Развитие технологий 3D-печати также будет способствовать созданию полимеров с заданными свойствами и формами, что откроет новые возможности для производства и кастомизации материалов.

Таким образом, химия органических полимеров продолжает оставаться на передовой науки и технологий, предлагая инновационные решения для множества отраслей. Научные исследования в этой области позволяют не только создавать новые материалы с уникальными характеристиками, но и существенно улучшать существующие, делая их более эффективными, устойчивыми и экологичными. Будущие исследования и разработки в области органических полимеров будут направлены на дальнейшее улучшение их свойств, а также на расширение спектра их применения в самых разных областях человеческой деятельности.

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Барков А.А. Полимеры и их свойства. – Санкт-Петербург: Химия, 2020. – 215 с.
2. Березовский А.В., Иванова Т.С. Синтез и свойства органических полимеров. – Москва: Наука, 2018. – 305 с.
3. Бойко И.Е., Воронин А.Н. Биомаркеры и их применение в диагностике заболеваний. – Москва: Медицина, 2019. – 198 с.
4. Гусев В.А. Органические полимеры: основы синтеза и применения. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2017. – 192 с.
5. Захаров В.Н. Полимеры и их современные применения. – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – 240 с.
6. Карпов М.П. Химия и технология органических полимеров. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2020. – 384 с.
7. Козлов П.В. Функциональные органические полимеры: синтез и модификация. – Москва: Вентана-Граф, 2019. – 220 с.
8. Лаврентьев А.Ф., Сидоров М.Д. Полимеры: структура, свойства и методы анализа. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. – 310 с.
9. Орлов В.В., Иванова Т.И. Синтез и механизмы реакции органических полимеров. – Челябинск: ЧелГУ, 2018. – 270 с.
10. Шарова Н.С. Полимеры: от синтеза к применению. – Москва: Издательство МГУ, 2021. – 245 с.
11. Джатдоева Д.Т., Болурова К.А., Эбзеева З.М. Молекулярный дизайн ферментных ингибиторов на основе азотсодержащих гетероциклов.- Вода: химия и экология. ООО «Издательство «Манускрипт» № 11, 2024-с.29

### ORGANIC POLYMER CHEMISTRY: FROM MOLECULAR DESIGN TO PRACTICAL APPLICATIONS

**Dzhatdоеva D.T., Ambigbzeeva Z.M., Zhazaeva Z.A., Karakotova A.Sh.**

The article is devoted to an overview of modern methods of synthesis and molecular design of organic polymers, as well as their importance in various fields of science and industry. The work considers the key aspects of the creation and modification of polymeric materials, including the influence of molecular weight, structure of polymer chains and architecture on their physicochemical properties. The main methods of polymer synthesis, such as radical, ionic polymerization and polycondensation, as well as their role in obtaining materials with specified mechanical, thermal and electrical characteristics are described. Particular attention is paid to the development of polymers with improved functional properties, such as conductivity, optical and magnetic characteristics,

which opens up new prospects for the use of polymers in electronics, biomedicine, ecology and other high-tech industries. The article also emphasizes the importance of further improvement of polymer synthesis and modification methods for the creation of innovative materials that can meet the needs of various industries and science.

**Keywords:** organic polymers, polymer synthesis, molecular design, functional properties, thermal stability.

---

Сведения об авторах:

**Джатдоева Диана Тохтаровна**

К.б.н., старший преподаватель кафедры химии,  
Медицинского института.  
ФГБОУ ВО Северо-Кавказская государственная академия,  
г. Черкесск, Российская Федерация

**Эбзеева Залина Магометовна,**

**Джазаева Залина Аликовна,**

**Каракотова Асият Шамилевна,**

Студенты, ФГБОУ ВО Северо-Кавказская государственная академия.  
Медицинский институт.  
г. Черкесск, Российская Федерация

# ЭКОЛОГИЯ

---