

УДК 678:66.095

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ****СОТИРОВ П.Г.<sup>1</sup>, ДЕНЕВ Д.Р.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>студент Шуменского университета им. Епископа Константина Преславского<sup>2</sup>гл. ассистент, д-р, инж. Шуменского университета им. Епископа

Константина Преславского, Факультет технических наук, кафедра

«Коммуникационной и компьютерной техники и технологий безопасности»

г. Шумен, Болгария

**Аннотация:** Настоящий доклад рассматривает современные методы полимеризации и их влияние на структуру и функциональные свойства полимерных материалов. Проанализированы основные механизмы ступенчатой и цепной полимеризации, а также передовые методы, такие как контролируемая радикальная полимеризация, координационные процессы с катализаторами Циглера–Натта и металлоценами, плазменная и биокаталитическая полимеризация. Показано, как выбор метода определяет молекулярную архитектуру, степень кристалличности, разветвлённость и сшивание, что, в свою очередь, влияет на механические, термические и электрические характеристики материала. Представлены также ключевые инженерные приложения в электронике, автомобилестроении и биомедицине, подчёркивающие значение точных технологий полимеризации для развития высокофункциональных и устойчивых материалов.

**Ключевые слова:** полимеризация, технологии, полимерные материалы

**Abstract:** The present report examines modern polymerization methods and their influence on the structure and functional properties of polymer materials. The fundamental mechanisms of step-growth and chain-growth polymerization are analyzed, along with advanced techniques such as controlled radical polymerization, coordination processes involving Ziegler–Natta and metallocene catalysts, plasma polymerization, and biocatalytic polymerization. It is shown how the choice of method determines the molecular architecture, degree of crystallinity, branching, and crosslinking, which in turn affects the mechanical, thermal, and electrical characteristics of the material. Key engineering applications in electronics, automotive manufacturing, and biomedicine are also presented, highlighting the importance of precise polymerization technologies for the development of high-performance and sustainable materials.

**Keywords:** polymerization, technologies, polymer materials

**ВВЕДЕНИЕ**

Полимеризация – это фундаментальный процесс в материаловедении, при котором многочисленные малые молекулы – мономеры – соединяются в длинные макромолекулярные цепи. Эти цепи могут иметь различную длину, строение, разветвлённость или функциональные группы, что приводит к

огромному разнообразию свойств. Благодаря этому разнообразию современные полимеры являются незаменимой частью электроники, медицины, транспортных систем, упаковки и энергетики. Развитие технологий полимеризации за последние десятилетия позволило создавать материалы с точно контролируемыми свойствами, соответствующими специфическим инженерным требованиям. Классические методы полимеризации – аддитивная и конденсационная – заложили основы полимерной промышленности, однако современные научные направления расширяют спектр возможных структур и функциональных возможностей. Появление контролируемых радикальных методов, катализируемых процессов, а также экологически чистых технологий открывает новые горизонты для создания точных полимерных архитектур. Эти технологии позволяют регулировать молекулярную массу, распределение цепей, степень разветвления и сшивания, что напрямую влияет на механические, термические и электрические свойства материалов. [2], [8], [12]

### *КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ*

Полимер – это общее название для огромного числа материалов с высокой молекулярной массой. Эти материалы существуют в бесчисленных формах и разновидностях благодаря большому количеству и разнообразию атомов, из которых построены их молекулы. Полимеры могут иметь различную химическую структуру, физические свойства, механическое поведение и термические характеристики. На основе этих свойств их можно классифицировать различными способами, которые приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Классификация полимеров

| Основание классификации          | Тип полимера                                           |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Происхождение                    | Натуральные, Синтетические                             |
| Термический ответ                | Термопласты                                            |
| Способ образования               | Аддитивные, Конденсационные                            |
| Линейная структура               | Линейные, Разветвлённые                                |
| Применение и физические свойства | Каучуки, Пластмассы, Волокна                           |
| Тактичность                      | Изотактические, Атактические                           |
| Кристалличность                  | Некристаллические Полукристаллические, Кристаллические |
| Полярность                       | Полярные, Неполярные                                   |
| Цепная структура                 | Гетероцепные, Гомоцепные                               |

### *НАТУРАЛЬНЫЕ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ*

Полимеры являются важным классом материалов, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Они состоят из длинных цепей молекул, образованных многократно повторяющимися мономерными единицами. В материаловедении полимеры в основном клас-

сифицируются на натуральные и синтетические, при этом каждый тип обладает специфическими свойствами, структурой и областью применения. Натуральные полимеры встречаются в природе и являются основным компонентом биологических организмов. Они образуются посредством естественных биохимических процессов и, как правило, биоразлагаемы, что делает их экологически устойчивыми. Основные примеры натуральных полимеров в материаловедении:

Целлюлоза – основной структурный элемент древесины и растительных волокон, используется в производстве бумаги, текстиля и биоразлагаемых материалов.

Крахмал – встречается в растениях и применяется в биоразлагаемых пластмассовых материалах и пищевой промышленности.

Каучук – добывается из каучукового дерева и используется в производстве автомобильных шин, уплотнений и гибких изделий.

Белки (коллаген, кератин) – находят применение в медицине и биоматериалах. [1], [4], [11]

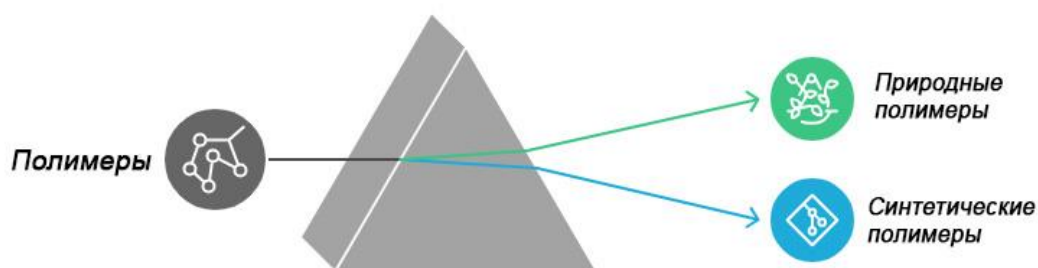


Рисунок 1 - Общее разделение полимеров

Синтетические полимеры создаются с помощью химических процессов, таких как аддитивная или конденсационная полимеризация. Они могут быть модифицированы для достижения различных физико-механических свойств и широко используются в промышленности. Основные примеры синтетических полимеров в материаловедении:

Полиэтилен – используется для упаковки, труб и контейнеров.

Полипропилен – применяется в автомобильной промышленности, медицинских изделиях и текстильных волокнах.

Полистирол (PS) – часто встречается в изоляционных материалах и упаковке.

Поливинилхлорид – широко используется в строительстве, электронике и медицинских изделиях.

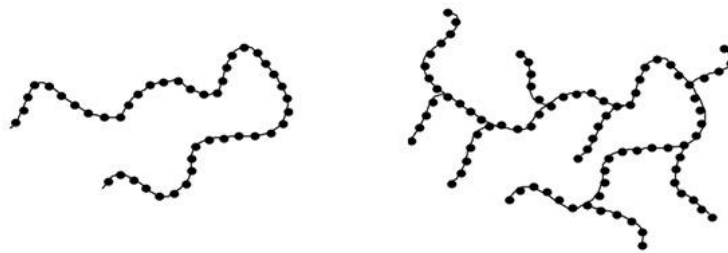


Рисунок 2 - Линейный и Разветвленный полимер

### *СОВРЕМЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ*

Современные промышленные методы полимеризации позволяют точно контролировать структуру и свойства полимеров. Контролируемая радикальная полимеризация (CRP) обеспечивает регулирование длины цепей и расположения функциональных групп за счёт обратимого приостановления роста радикалов. Основными методами являются RAFT, ATRP и NMP. Этот подход позволяет синтезировать блок-сополимеры и сложные архитектуры (звёздные, щёточные, разветвлённые), подходящие для наноматериалов, гидрогелей и биомедицинских приложений. Координационная полимеризация с катализаторами Циглера–Натты и металлоценовыми комплексами контролирует присоединение мономеров и стереохимию, что приводит к получению полиолефинов высокой чистоты и с определёнными механическими свойствами, включая ультравысокомолекулярный линейный полиэтилен и изотактический полипропилен с высокой прочностью. Другие подходы включают:

Плазменную полимеризацию, которая активирует мономеры в плазме для создания уникальных функциональных покрытий на различных субстратах.

Эмульсионную и суспензионную полимеризацию, применяемые для получения латексов и гранул с контролируемой молекулярной массой.

Биокаталитическую полимеризацию с использованием ферментов, подходящую для получения биоразлагаемых и биосовместимых полимеров.

Эти методы объединяют высокую селективность, экологическую безопасность и возможность промышленного производства материалов с уникальными физико-химическими свойствами, эффективно расширяя применение полимерной химии в медицине, электронике, упаковке и нанотехнологиях. [3], [6], [10]

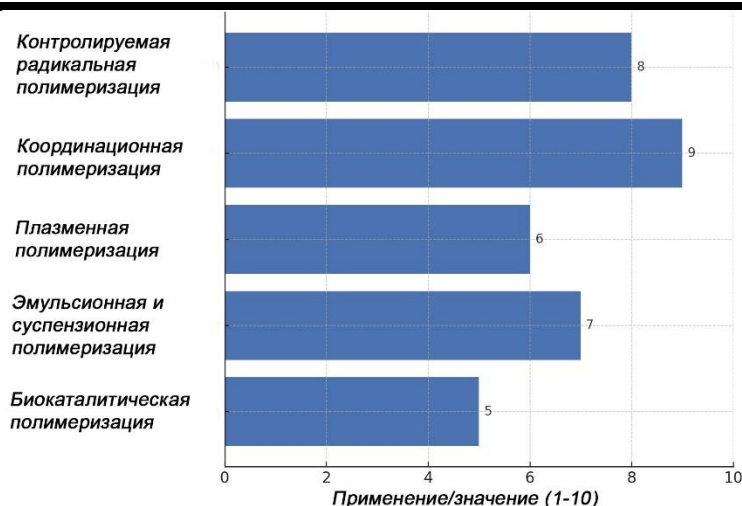


Рисунок 3 - Сравнение современных промышленных методов полимеризации

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полимерные материалы занимают всё более центральное место в современной науке и промышленности благодаря своему разнообразию структуры, отличным механическим свойствам и возможности модификации под конкретные приложения. Они находят широкое применение в таких областях, как электроника, медицина, автомобилестроение, энергетика и упаковочная промышленность, одновременно предлагая устойчивые решения через биоразлагаемые и перерабатываемые материалы. Развитие нанокомпозитных полимеров и интеллектуальных полимерных систем открывает новую эру в материаловедении с потенциалом для решения глобальных экологических и технологических задач. [5], [7], [9]

### Список литературы:

1. Альмаймони Н., Альхазраги О., Финкбайнер Ф. Высокоскоростные VCSEL-лазеры в окне передачи 650 нм для полимерных оптических волокон. IEEE Photonics Conference (IPC 2023), 2023, с. 133–140, ISBN 9798350347227.
2. Анджелопулос М., Петел Н., Шоу Дж. М. Водорастворимые электропроводящие полимеры. IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1994.
3. Бейли К., Ризви Дж., Ин К., Лу Х., Стоянов С. Применение моделирования для прогнозирования поведения полимеров и адгезивов в микроэлектронных и фотонных устройствах. 6th International IEEE Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics (Polytronic 2007), 2007, с. 240–244.
4. Мечкова В., Станева Л., Мечков Б. Разработка цикла лабораторных работ по курсу „Теоретическая электротехника“ в среде MATLAB. XI международная научно-техническая конференция „Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики“, Саранск, 2013, с. 392–396.
5. Станева Л., Петров Ю., Георгиев Й., Беловски И., Едрев С. Програмна реализация на компютърна лаборатория на базата на MATLAB-GUIDE. Го-

дишник на Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, Бургас, 2013, т. XLII (1), с. 100–102.

6. Петров Ю., Станева Л., Едрев С. Моделиране на пасивна система на четвърт модел на автомобил с Matlab във връзка със семинарни упражнения по теория на автомобила. Международна научна конференция „Образование, наука, икономика и технологии“, Бургас, 2015.

7. Цанков Ц. С. Съвременни методи за управление на ресурси в компютърни индустриални мрежи. Университетско издателство „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2022, ISBN 978-619-201-618-0, 150 с.

8. Стоянов Ив., Иванов В., Илиев Т., Иванова Е., Михайлов Л. Моделиране работата на силови електронни преобразуватели на електрическа енергия, използвани във фотоволтаични системи. Годишник на Техническия университет – София, т. 67, кн. 1, София, 2017, ISSN 1311-0829, с. 123.

9. Мечкова В., Мечков Б., Станева Л. Приложение на MATLAB при изследване на преходни процеси в линейни електрически вериги. Годишник на Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, Бургас, 2009, т. XXXVIII (1), с. 126–129.

10. Мечкова В., Станева Л., Мечков Б., Бъндева К. Моделиране на преходни процеси в електрическа верига с MATLAB. Годишник на Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, Бургас, 2009, т. XXXVIII (1), с. 130–132.

11. Ivanov V. Modeling of three-phase inverter power supply system in Simulink. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, Vol. 1032, 2020, ISSN 1757-899X.

12. Ivanov V., Stoyanov Iv., Kosunalp S. Applying a problem-based learning in the topic of modelling of the power and improvement the voltage stability of wind turbines. 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 2023, ISBN 979-835031127-3.