

**УДК 547****ФУРАН-ТРИАЗОЛОВЫЕ ПОЛИМЕРЫ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ  
БИОМАССЫ****FURAN-TRIAZOLE POLYMERS FROM RENEWABLE BIOMASS**

Ездакова А.М., Николаева И.В.

Тульский государственный университет, Тула, Россия

Научный руководитель: к.х.н., зав. лаб. ХимКВБиОС Карлинский Б.Я.

**Аннотация:** В работе исследован синтез новых фуран-триазоловых полимеров из возобновляемого сырья с применением CuAAC-полимеризации. Изучены условия синтеза с использованием различных линкеров и определены оптимальные параметры процесса, достигнуты высокие выходы полимеров. Проведен анализ горючести синтезированных материалов посредством определения индекса кислорода (LOI) подтверждающий перспективность материалов как альтернативы нефтехимическим полимерам с улучшенными характеристиками пожарной безопасности.

**Ключевые слова:** полимерные материалы, индекс кислорода (LOI), возобновляемое сырье

**Abstract:** The paper investigates the synthesis of new furan-triazole polymers based on renewable raw materials using CuAAC polymerization. Synthesis conditions using various linkers have been studied, optimal process parameters have been determined, and high polymer yields have been achieved. The analysis of the flammability of synthesized materials by determining the oxygen index (LOI) is carried out, confirming the promise of materials as an alternative to petrochemical polymers with improved fire safety characteristics.

**Keywords:** polymer materials, oxygen index (LOI), renewable raw materials

Стремительный рост потребления полимерных материалов и усиливающиеся экологические проблемы обуславливают необходимость поиска альтернативных источников сырья и разработки экологически безопасных полимеров. Синтез полимеров из возобновляемых источников, таких как растительная биомасса, приобретает важное значение, предлагая перспективную замену традиционным нефтехимическим полимерам [1].

Среди полимерных материалов особое внимание привлекают фуран-триазоловые полимеры. Характерной особенностью этих полимеров является наличие длинных гибких линкеров, обеспечивающих повышенную растворимость и, как следствие, расширяющих возможности их применения. Триазольные группы могут быть легко синтезированы через реакцию азид-алкин циклоприсоединения, еще они обладают хорошей стабильностью по отношению к гидролитическим процессам и улучшают термическую стабильность материала. Сочетание фурановых и триазольных фрагментов открывает возможности для создания полимеров

с широким спектром применения, от защитных покрытий и композиционных материалов до микроэлектроники и других высокотехнологичных областей. В данной работе мы представляем результаты исследований по синтезу и характеристике нового класса фуран-триазоловых полимеров на основе возобновляемого сырья, с акцентом на изучение их структуры, свойств и потенциальных применений [2].

Синтез полимерных материалов проводили по методике CuAAC – полимеризации. При взаимодействии азида и алкина под действием катализатора образуется 1,2,3-триазол — прочное ковалентное соединение. Таким образом, чередуя фурановые и диазидные мономеры происходит наращивание цепи полимера (рис.1).

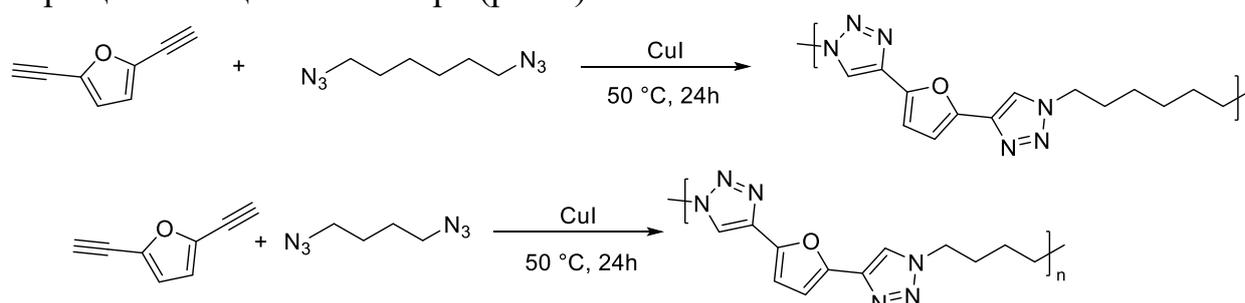


Рисунок 1. CuAAC – полимеризация.

Для всех реакций в качестве катализатора использовали йодид меди I, в качестве растворителя – N, N-Диметилформамид (ДМФА).

Условия проведения синтезов и выходы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Условия для синтеза полимеров

| № | Фурановый мономер | Линкер            | Катализатор | Растворитель | Выход, % |
|---|-------------------|-------------------|-------------|--------------|----------|
| 1 | 2,5-диэтинилфуран | 1,6-диазидогексан | CuI         | ДМФА         | 99       |
| 2 | 2,5-диэтинилфуран | 1,4-диазидобутан  |             |              | 97       |

Индекс кислорода (LOI) является важным показателем для оценки горючести полимеров и играет ключевую роль в разработке более экологически безопасных полимерных материалов. Повышение LOI позволяет снизить или исключить использование вредных антипиренов добавляемые в полимеры для снижения их горючести, часто содержат галогены (хлор, бром) и другие токсичные вещества, увеличить срок службы полимерных изделий и уменьшить выбросы токсичных веществ при горении. Показатель кислорода является ценным инструментом для оценки горючести полимеров и разработки новых материалов с улучшенными характеристиками. Чем выше значение LOI, тем менее горюч материал [3].

Индекс LOI рассчитывают по следующему уравнению:

$$LOI = 17,5 + 0,4CY$$

где LOI (Limiting Oxygen Index) – минимальная концентрация кислорода в воздухе, необходимая для поддержания горения материала, 17,5 и 0,4 – константы; CY (Char Yield) – процентное содержание остатка, найденное из графика

Таблица 2. Физические параметры исследуемых полимеров

| Образец | LOI, % | CY, % |
|---------|--------|-------|
| 1       | 25,52  | 20,06 |
| 2       | 24,86  | 18,40 |

В таблице 2 приведены полученные физические свойства полимерных образцов. По индексу LOI можно сделать вывод о том, что образцы можно классифицировать как материалы, имеющую ограниченную горючесть.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования синтезированных фуран-триазоловых полимеров в качестве экологически безопасных материалов.

#### Список литературы

1. Сафина Д. Н. и др. Перспективы производства компонентов моторных топлив из биомассы //Вестник технологического университета. – 2021. – Т. 24. – №. 9. – С. 19-41.
2. Karlinskii B. Y., Ananikov V. P. Recent advances in the development of green furan ring-containing polymeric materials based on renewable plant biomass //Chemical Society Reviews. – 2023. – Т. 52. – №. 2. – С. 836-862.
3. Weil E. D. et al. Oxygen index: correlations to other fire tests //Fire and materials. – 1992. – Т. 16. – №. 4. – С. 159-167.