

## Пиролиз - эффективное решение для утилизации отходов в Луганской Народной Республике

*Ю.В. Конец<sup>1</sup>, К.К. Конец<sup>1</sup>, И.В. Бганцева<sup>2</sup>, Н.А. Вишневецкая<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства,  
«Луганский государственный университет им. В. Даля»,  
г. Луганск*

<sup>2</sup>*ИАиС «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград*

**Аннотация:** Проблема утилизации отходов становится все более актуальной в современном мире. Огромные объемы твердых и органических отходов, которые накапливаются каждый день, требуют эффективных и экологически безопасных методов их переработки. Одним из наиболее эффективных и перспективных решений в этой области является технология пиролиза. В статье рассмотрен пиролиз, как метод утилизации твердых коммунальных отходов. Отмечено, что наиболее эффективным он является при переработке его органической составляющей. Рассмотрены виды пиролиза в зависимости от температуры.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, методы обращения с отходами, переработка отходов, пиролиз.

При выборе стратегии безопасного и рационального обращения с отходами, морфологический состав твердых коммунальных отходов (далее ТКО) является важнейшим параметром. Знание морфологического состава ТКО является отправной точкой в процессе разработки решений, направленных на сокращение количества, и выбор наиболее подходящей технологии переработки либо утилизации. В ходе проведенных исследований в период 2020 - 2021 г.г. был сделан анализ морфологического состава твердых коммунальных отходов на территории Луганской Народной Республики. И определено, что основную часть отходов (почти 40 %) составляют пищевые отходы и почти 4% - бумага [1]. Одним из альтернативных направлений использования отходов является их утилизация методом пиролиза с целью получения горючего газа [2]. Так как большой процент отходов являются углеродсодержащими, то особый интерес представляет именно технология утилизации твердых и органических отходов методом пиролиза.

---

**Цель** - исследовать пиролизный метод утилизации органических отходов.

Пиролиз — это процесс термического разложения органических веществ под воздействием высоких температур без доступа кислорода [3]. В результате этого процесса происходит разложение отходов на газы, жидкости и твердые остатки.

Для наибольшей производительности процесса пиролиза ключевым этапом в обработке твердых коммунальных отходов является отдельный сбор отходов. Сортировка мусора позволяет извлечь до 70-80% полезных ресурсов из общего количества отходов, в то время как ее отсутствие приводит к использованию около 15% полезных материалов. Поэтому внедрение системы отдельного сбора на Луганщине становится необходимостью [4].

Основным преимуществом пиролиза является возможность получения тепловой энергии. В процессе разложения отходов выделяется значительное количество тепла, которое может быть использовано для производства электроэнергии или тепла. Это позволяет существенно сократить зависимость от традиционных источников энергии и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Кроме того, пиролиз позволяет максимально извлечь ценные компоненты из отходов. В результате процесса получают газы и жидкости, которые могут быть использованы в качестве сырья для производства различных химических продуктов. Например, из пиролизного газа можно получить синтез-газ, который используется в производстве синтетических удобрений или топлива [5].

Еще одним важным аспектом технологии пиролиза является снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду. Пиролиз позволяет снизить количество отходов, которые попадают на свалки или сжигаются на

---

открытом воздухе, что сопровождается выбросами вредных веществ [6 - 8]. Благодаря пиролизу отходы перерабатываются безопасным и эффективным способом, минимизируя негативное воздействие на природу.

Выход продуктов зависит от используемого температурного режима. В зависимости от этого существуют следующие виды пиролиза.

*Низкотемпературный пиролиз (до 500 °С)*

При низких температурах пиролиза образуется больше нефти и угля, а количество добываемого газа меньше. Это связано с тем, что при таких температурах происходит в основном деполимеризация органических соединений, а не их разложение.

*Высокотемпературный пиролиз (свыше 500 °С)*

При высоких температурах пиролиза образуется больше газа, а количество нефти и угля меньше. Это связано с тем, что при таких температурах происходит разложение органических соединений с образованием газообразных продуктов.

Установка высокотемпературного пиролиза (далее УВТП) — это промышленное оборудование, предназначенное для получения топлива, химических веществ и других продуктов из органического сырья. Процесс пиролиза основан на термическом разложении исходного сырья в бескислородной среде при высокой температуре (от 400 до 1000 °С).

УВТП широко используются для переработки различных видов отходов, таких как биомасса, пластик, резина, древесина, и другие [9]. В зависимости от вида сырья и желаемых продуктов могут использоваться различные типы УВТП, которые отличаются конструкцией, режимом работы и производительностью.

### *Классификация УВТП по способу передачи энергии*

Один из основных критериев классификации УВТП - способ передачи тепловой энергии исходному сырью. Существуют следующие три основных типа УВТП:

1. Абляционный - энергия передается от газообразного или твердого теплоносителя к твердому сырью. Этот тип УВТП характеризуется отсутствием подвижных частей внутри реактора и относительно низкой стоимостью. Однако производительность абляционного пиролиза ограничена, что можно компенсировать с использованием инженерно-технических решений. Примерами абляционных УВТП являются реакторы фирм BTG (Нидерланды, производительность до 8 т биомассы в сутки) и Ensyn (Канада, Великобритания, США) - 15 тыс. т сухой древесины в год.

2. Кипящий слой (далее КС) - энергия передается от горячего газа к частицам твердого сырья, которые находятся в кипящем состоянии. Этот тип УВТП характеризуется высокой производительностью и эффективностью. Однако КС пиролиз требует более сложного оборудования и более высокого уровня технического обслуживания. Примерами КС пиролиза являются установки фирмы Babcock & Wilcox (США, производительность до 500 т биомассы в сутки) и фирмы CHOREN (Германия, производительность до 1000 т биомассы в сутки).

3. Циркулирующий кипящий слой (далее ЦКС) - схож с КС пиролизом, но отличается тем, что частицы твердого сырья циркулируют между реактором и внешним циклоном. Это позволяет достичь более высокой эффективности и производительности. Примерами ЦКС пиролиза являются установки фирмы Kvaerner (Норвегия, производительность до 200 т биомассы в сутки) и фирмы Foster Wheeler (США, производительность до 500 т биомассы в сутки).

### *Преимущества и недостатки различных типов УВТП*

Каждый тип УВТП имеет свои преимущества и недостатки. Ниже в таблице 1 приведено сравнение основных характеристик абляционного, КС и ЦКС пиролиза.

Таблица № 1

<i>Характеристика</i>	<i>Абляционный пиролиз</i>	<i>КС пиролиз</i>	<i>ЦКС пиролиз</i>
<i>Способ передачи энергии</i>	Газ - твердое тело или твердое тело - твердое тело	Горячий газ - твердое тело	Горячий газ - твердое тело
<i>Производительность</i>	Низкая	Высокая	Высокая
<i>Эффективность</i>	Низкая	Высокая	Высокая
<i>Стоимость оборудования</i>	Низкая	Высокая	Высокая
<i>Уровень технического обслуживания</i>	Низкий	Высокий	Высокий

Продуктами пиролиза являются:

Жидкое топливо - может быть использовано как в качестве моторного топлива, так и для получения химических веществ.

Газообразное топливо - может быть использовано для производства электроэнергии или тепла.

Твердый остаток - может быть использован как удобрение или строительный материал.

УВТП являются важным инструментом для переработки отходов и получения ценных продуктов. Они помогают снизить вредное воздействие отходов на окружающую среду и способствуют развитию экономики замкнутого цикла.

В ходе исследования предложен один из возможных путей решения этой проблемы — в качестве источника высокой температуры в реакторе пиролизной установки для поддержания процесса пиролиза рекомендовано использовать электрическую дугу постоянного или переменного тока. Разработан испытательный стенд, предназначенный для исследований утилизации органических отходов [10].

#### *Преимущества пиролиза ТБО перед традиционной утилизацией*

Пиролиз ТБО имеет ряд преимуществ перед традиционной утилизацией, в том числе путем сжигания:

- Экологичность. Пиролиз ТБО не сопровождается выбросами вредных веществ в атмосферу, так как процесс происходит в закрытом реакторе.
- Энергоэффективность. Пиролиз ТБО позволяет получить ценные виды топлива (нефть и газ), которые могут быть использованы для производства электроэнергии или тепла.
- Экономичность. Пиролиз ТБО может быть экономически выгодным процессом, так как стоимость полученных продуктов может превышать стоимость утилизации отходов.

#### **Выводы**

Пиролиз твердых коммунальных отходов является перспективным методом утилизации отходов, который позволяет получить ценные виды топлива и снизить отрицательное воздействие на окружающую среду. Технология пиролиза уже успешно применяется во многих странах, и ее популярность продолжает расти. Внедрение этой технологии в систему утилизации отходов Луганской Народной Республики позволит нам сделать важный шаг в направлении более чистой и устойчивой экологии.

#### **Литература**

1. Копец Ю.В., Дрозд Г.Я. Концепция и методология разработки региональных схем обращения с отходами в ЛНР с позиции рациональности
-

и эффективности // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2021. Вып. №12 (54). С. 64-74.

2. Номозов И.Н.у. Модернизация практик применения пиролизного метода как способ преодоления мусорных проблем // Научный журнал «Актуальные исследования». 2022. Ном 36 (115). С. 33-35. URL: [apni.ru/article/4570-modernizatsiya-praktik-primeneniya-piroliznog](http://apni.ru/article/4570-modernizatsiya-praktik-primeneniya-piroliznog).

3. Мишустин О.А., Желтобрюхов В.Ф., Грачева Н.В., Хантимирова С.Б. Обзор развития и применения технологии пиролиза для переработки отходов // Молодой ученый. 2018. № 45 (231). С. 42-45. URL: [moluch.ru/archive/231/53604/](http://moluch.ru/archive/231/53604/).

4. Копец Ю.В. Организация системы раздельного сбора твердых коммунальных отходов на Луганщине // Инженерный вестник Дона, 2023, №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8701/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8701/).

5. Шартдинов А.Ш., Квятковская А.С., Эпимахов Н.Л., Силантьева Л.Я. Применение синтез-газа для производства альтернативных источников энергии // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 3. С. 106-111.

6. Lopez A., Marco D., Caballero V.M., Laresgoiti M.F., Adrados A. Influence of time and temperature on pyrolysis of plastic wastes in a semi-batch reactor. Chemical Engineering Journal. 2011. Pp. 173, 62–71.

7. Мишустин О.А., Хантимирова С.Б., Грачева Н.В., Желтобрюхов В.Ф. Технико-экономическое обоснование технологии утилизации органических и неорганических углеродсодержащих отходов методом пиролиза // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5602/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5602/).

8. Bekniyazova D.B. Impact of waste on the environment. International scientific journal, 2023. Volume 1, issue 6. Pp. 226-228.



9. Jordan C. A., Akay G. Occurrence, composition and dew point of tars produced during gasification of fuel cane bagasse in a downdraft gasifier. *Biomass and Bioenergy Journal*, 2012. Volume 42. P. 51.

10. Копец Ю. В. Процесс и установка для пиролизной утилизации твердых органических отходов // Экологический вестник Донбасса. Алчевск: Изд-во ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2023. Вып. №8. С. 25-28.

### References

1. Kopets I.V., Drozd G.Ja. *Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalja*. Lugansk: Izd-vo LNU im. V. Dalja, 2021. Вып. №12 (54). Pp. 64-74.

2. Nomozov I.N.u. *Nauchnyj zhurnal «Aktual'nye issledovaniya»*. 2022. Nom 36 (115). Pp. 33-35. URL: [apni.ru/article/4570-modernizatsiya-praktik-primeneniya-piroliznog](http://apni.ru/article/4570-modernizatsiya-praktik-primeneniya-piroliznog).

3. Mishustin O.A., Zheltobryuhov V.F., Gracheva N.V., Hantimirova S.B. *Molodoj uchenyj*. 2018. № 45 (231). pp. 42-45. URL: [moluch.ru/archive/231/53604/](http://moluch.ru/archive/231/53604/).

4. Kopets I.V. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2023, №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8701/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8701/).

5. Shartdinov A.Sh., Kvjatkovskaja A.S., Jepimahov N.L., Silant'eva L.Ja. 2021. № 3. Pp. 106-111.

6. Lopez A., Marco D., Caballero B.M., Laresgoiti M.F., Adrados A. *Chemical Engineering Journal*. 2011. Pp. 173, 62–71.

7. Mishustin O.A., Hantimirova S.B., Gracheva N.V., Zheltobryuhov V.F. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2019. №1, URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5602/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5602/).

8. Bekniyazova D.B. *International scientific journal*, 2023. Volume 1, issue 6. Pp. 226-228.





9. Jordan C. A., Akay G. Biomass and Bioenergy Journal, 2012. Volume 42. P. 51.

10. Копетс І. В. Екологічний вісник Донбасу. Алчевськ: Вид-во ГОУ ВО ЛНР «ДонГТУ», 2023. Вип. №8. Рр. 25-28.

**Дата поступления: 22.12.2023**

**Дата публикации: 30.01.2024**