

DOI: 10.58168/TBiEc2025_200-204

УДК 664

ПИРОЛИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ: ОБЗОР ПРОЦЕССА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

PYROLYSIS OF AGRICULTURAL WASTE: A REVIEW OF THE PROCESS AND ITS APPLICATIONS

Манурин А.В. магистр ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский университет», Казань, Россия. **Manurin A.V.** master, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.

Аннотация: пиролиз — перспективный метод переработки органических отходов сельского хозяйства (солома, шелуха, навоз и др.) путем термического разложения без доступа кислорода. Процесс позволяет получать ценные продукты: биотопливо, синтез-газ и биоуголь, снижая объемы отходов и выбросы парниковых газов. В зависимости от условий (температура, скорость нагрева) можно регулировать выход продуктов. Пиролиз сочетает экологические и экономические преимущества, способствуя развитию устойчивой экономики. Перспективы включают оптимизацию процесса, разработку катализаторов и создание мобильных установок.

Abstract: pyrolysis is a promising method for processing organic agricultural waste (straw, husks, manure, etc.) by thermal decomposition without oxygen. The process allows obtaining valuable products: biofuel, synthesis gas and biochar, reducing waste volumes and greenhouse gas emissions. Depending on the conditions (temperature, heating rate), the yield of products can be regulated. Pyrolysis combines environmental and economic benefits, contributing to the development of a sustainable economy. Prospects include process optimization, catalyst development and the creation of mobile units.

Ключевые слова: пиролиз, сельскохозяйственные отходы, термическое разложение, биотопливо, синтез-газ.

Keywords: pyrolysis, agricultural waste, thermal decomposition, biofuel, synthesis gas.

Введение

Современное развитие промышленности и сельского хозяйства приводит к значительному увеличению объемов отходов, которые требуют эффективной утилизации. Одним из перспективных методов переработки органических отходов является пиролиз — термический процесс разложения веществ без доступа кислорода. Этот метод позволяет не только решить экологические проблемы, связанные с накоплением отходов, но и получить ценные продукты, такие как биотопливо, синтез-газ и биоуголь. В данной работе

рассматривается процесс пиролиза сельскохозяйственных отходов, его основные этапы, виды и области применения получаемых продуктов [1].

Понятие пиролиза и его механизм

Пиролиз представляет собой химический процесс термического разложения органических материалов при высоких температурах (обычно от 300 до 900 °С) в условиях отсутствия или ограниченного доступа кислорода. Основная цель пиролиза заключается в преобразовании сложных органических соединений в более простые компоненты, такие как газообразные продукты, жидкости и твердые остатки.

Механизм пиролиза включает несколько ключевых этапов:

1. Нагрев материала: исходное сырье нагревается до температуры, при которой начинается термическое разложение.
2. Разрушение связей: при повышении температуры происходит разрыв химических связей в молекулах органического вещества.
3. Формирование продуктов: образуются газообразные, жидкие и твердые продукты, состав которых зависит от параметров процесса (температура, давление, время).

В зависимости от условий проведения пиролиза можно регулировать выход тех или иных продуктов. Например, при низких температурах (до 500 °С) преобладает образование биоугля, а при высоких температурах (выше 700 °С) увеличивается доля синтез-газа [2].

Виды пиролиза

В зависимости от режима проведения процесса выделяют следующие виды пиролиза:

1. Медленный пиролиз: характеризуется низкой скоростью нагрева и длительным временем выдержки материала при заданной температуре. Основным продуктом — биоуголь, который используется как почвенный кондиционер или топливо.
2. Быстрый пиролиз: осуществляется при высокой скорости нагрева и коротком времени пребывания материала в реакторе. Преобладающий продукт — бионефть, которая может быть использована как источник энергии или сырье для химической промышленности.
3. Флэш-пиролиз: наиболее интенсивный вид пиролиза, при котором материал нагревается за доли секунды. Этот метод позволяет максимизировать выход жидких продуктов.
4. Каталитический пиролиз: использование катализаторов способствует направленному изменению состава продуктов пиролиза, например, увеличению выхода водорода или метана [3].

Сырье для пиролиза

Сельскохозяйственные отходы представляют собой обширную категорию органического сырья, которое может быть использовано для пиролиза. К таким отходам относятся:

- стебли и листья зерновых культур (солома, кукурузные стебли);
- отходы переработки плодовых культур (шелуха риса, ореховая скорлупа);

- отходы деревообработки (опилки, щепа);
- навоз и другие органические отходы животноводства.

Использование сельскохозяйственных отходов для пиролиза имеет ряд преимуществ:

- снижение объемов отходов;
- производство альтернативных источников энергии;
- улучшение экологической обстановки за счет уменьшения выбросов парниковых газов [4].

Продукты пиролиза и их применение

Процесс пиролиза сельскохозяйственных отходов позволяет получить три основных группы продуктов: газообразные, жидкие и твердые. Рассмотрим их подробнее [5].

1. Газообразные продукты

Газообразные продукты пиролиза включают водород, метан, оксид углерода, этилен и другие углеводороды. Эти газы объединяются под общим названием "синтез-газ" и могут быть использованы:

- как топливо для производства тепла и электроэнергии;
- для синтеза химических соединений (например, метанола, аммиака);
- в качестве восстановителя в металлургии [6].

2. Жидкие продукты

Жидкие продукты пиролиза, известные как бионефть или пиролизная жидкость, представляют собой сложную смесь органических соединений. Бионефть может быть использована:

- как замена традиционного топлива в двигателях внутреннего сгорания;
- в качестве сырья для производства биопластиков и других химических продуктов;
- после дополнительной очистки — как компонент автомобильного топлива.

3. Твердые продукты

Основным твердым продуктом пиролиза является биоуголь, который характеризуется высоким содержанием углерода и низкой зольностью. Биоуголь применяется:

- как почвенный кондиционер для улучшения плодородия почвы;
- как адсорбент для очистки воды и воздуха;
- как топливо для бытовых и промышленных нужд [7].

Экологические и экономические аспекты пиролиза

Пиролиз сельскохозяйственных отходов имеет значительные экологические преимущества. Во-первых, он позволяет сократить объемы отходов, которые в противном случае могли бы быть выброшены на свалки или сожжены, что привело бы к выбросам парниковых газов. Во-вторых, использование продуктов пиролиза в качестве источников энергии снижает зависимость от ископаемых видов топлива.

С экономической точки зрения, пиролиз является перспективным направлением, поскольку позволяет создавать новые рабочие места и развивать местные производства.

Однако внедрение технологии требует значительных первоначальных инвестиций в строительство установок и обучение персонала [8,9].

Перспективы развития технологии

На сегодняшний день пиролиз сельскохозяйственных отходов активно исследуется и совершенствуется. Перспективными направлениями развития технологии являются:

- оптимизация параметров процесса для увеличения выхода целевых продуктов;
- разработка новых катализаторов для каталитического пиролиза;
- создание мобильных установок для переработки отходов непосредственно на месте их образования;
- комбинирование пиролиза с другими методами переработки, такими как газификация или анаэробное сбраживание.

Заключение

Пиролиз сельскохозяйственных отходов представляет собой эффективный и экологически безопасный метод утилизации органических материалов. Этот процесс позволяет не только решить проблему накопления отходов, но и получить ценные продукты, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности. Несмотря на существующие технологические и экономические ограничения, пиролиз имеет огромный потенциал для дальнейшего развития и внедрения в практику. Совершенствование технологии пиролиза станет важным шагом на пути к созданию устойчивой и экологически ориентированной экономики.

Список литературы

1. Гайнуллина Г. Р., Федоров Г. Ю. Термический способ переработки углеродосодержащих отходов (пиролиз) // Вестник магистратуры. 2014. №11-1 (38).
2. Грачёв Андрей Николаевич, Сафин Рушан Гареевич, Канарский Альберт Владимирович, Сабиров Айрат Тагирзянович, Хисматов Рустам Габдулнурович Математическая модель термического разложения древесины // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010.
3. Бахонина Е. И. Современные технологии переработки и утилизации углеводородсодержащих отходов. Сообщение 1. Термические методы утилизации и обезвреживания углеводородсодержащих отходов // Башкирский химический журнал. 2015. № 1.
4. Суховеркова В. Е. Способы утилизации птичьего помета, представленные в современных патентах // Вестник АГАУ. 2016. №9 (143).
5. Крылова, А. Ю. Гидротермальная карбонизация биомассы (обзор)1 / А. Ю. Крылова, В. М. Зайченко // Химия твердого топлива. – 2018. – № 2. – С. 36-50.
6. Мележик А. В., Смыков М. А. Влияние параметров технологических режимов на выращивание углеродных нанотрубок методом каталитического пиролиза углеводородов // Вестник ТГТУ. 2010. № 4.

7. Патент № 2375342 С2 Российская Федерация, МПК C07C 39/17, C08F 2/42, C07C 7/20. Способ ингибирования термополимеризации при переработке жидких продуктов пиролиза: № 2008102390/04: заявл. 22.01.2008; опубл. 10.12.2009 / И. И. Батура, И. Ю. Чукичева, А. Ф. Гоготов [и др.] ; заявитель ОАО "Ангарский завод полимеров" (ОАО АЗП), Институт химии Коми научного центра Уральского отделения Российской Академии Наук "Институт химии Коми НЦ УрО РАН".

8. Ковалева А. А. и др. Направления переработки твердых продуктов пиролиза изношенных автомобильных шин, получаемых на установке ООО "РТС групп". – 2020.

9. Кузубов А. А., Шашло Н. В. Модели использования отходов аграрных предприятий в обеспечении энергетической и экологической безопасности //Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14. – №. 3. – С. 70.

References

1. Gainullina G. R., Fedorov G. Yu. Thermal method of processing carbon-containing waste (pyrolysis) // Bulletin of the Magistracy. 2014. No. 11-1 (38).

2. Grachev Andrey Nikolaevich, Safin Rushan Gareevich, Kanarsky Albert Vladimirovich, Sabirov Airat Tagirzyanovich, Khismatov Rustam Gabdulnurovich Mathematical model of thermal decomposition of wood // Bulletin of universities. Problems of energy. 2010.

3. Bakhonina E. I. Modern technologies for processing and recycling of hydrocarbon-containing waste. Message 1. Thermal methods of recycling and rendering harmless hydrocarbon-containing waste // Bashkir Chemical Journal. 2015. No. 1.

4. Sukhoverkova V. E. Methods of recycling bird droppings, presented in modern patents // Bulletin of the Agrarian State Agrarian University. 2016. No. 9 (143).

5. Krylova, A. Yu. Hydrothermal carbonization of biomass (review)1 / A. Yu. Krylova, V. M. Zaychenko // Chemistry of solid fuels. - 2018. - No. 2. - P. 36-50.

6. Melezhnik A. V., Smykov M. A. Influence of process mode parameters on the growth of carbon nanotubes by catalytic pyrolysis of hydrocarbons // Bulletin of TSTU. 2010. No. 4.

7. Patent No. 2375342 C2 Russian Federation, IPC C07C 39/17, C08F 2/42, C07C 7/20. Method for inhibiting thermal polymerization during processing of liquid pyrolysis products: No. 2008102390/04: declared 22.01.2008; published 10.12.2009 / I. I. Batura, I. Yu. Chukicheva, A. F. Gogotov [et al.]; applicant OJSC "Angarsk Polymer Plant" (OJSC AZP), Institute of Chemistry of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences "Institute of Chemistry of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences".

8. Kovaleva A. A. et al. Directions for processing solid pyrolysis products of worn automobile tires obtained at the installation of ООО "RTS Group". – 2020.

9. Kuzubov A. A., Shashlo N. V. Models of using waste from agricultural enterprises in ensuring energy and environmental safety // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. – 2021. – Vol. 14. – No. 3. – P. 70.