

Геоэкология

DOI: 10.34828/UdSU.2023.61.38.003

УДК 504.062

Л.Г. Тугашова

ПИРОЛИЗ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ

Аннотация. Выполнен обзор способов утилизации и переработки отходов различного происхождения. Определены преимущества процесса пиролиза для переработки отходов, в частности, биомассы. Приведены отечественные и международные стандарты для определения показателей качества сырья и продукции пиролиза. Изложены результаты обзора литературы по применению пиролизных установок для переработки биомассы. Показана последовательность технологических процессов установки пиролиза шнекового типа: подготовки сырья, сушки, пиролиза, конденсации. Выделены основные показатели качества и параметры процессов.

Ключевые слова: быстрый пиролиз, древесная биомасса, переработка, реактор, процесс.

Для цитирования: Тугашова Л.Г. Пиролиз как эффективный способ переработки биомассы // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып. 4. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 513–523. DOI: 10.34828/UdSU.2023.61.38.003.

Введение

В настоящее время важными задачами геоэкологии являются защита окружающей среды, экологическая безопасность, ресурсосбережение. Одним из решений перечисленных задач является эффективная утилизация различных по происхождению отходов с возможностью превращения их в ресурсы.

Известны различные технологии утилизации и переработки отходов: сортировка твердых бытовых отходов (ТБО), компостирование, сжигание измельченных отходов, сжигание в котлах-утилизаторах, газификация, пиролиз, биологическая переработка и др. Технологии направлены на

получение топлива и энергии для замены ископаемого топлива и получение ценных химикатов.

Пиролиз является современной эффективной технологией переработки отходов благодаря определенным преимуществам. По сравнению, например, со сжиганием, при переработке с применением пиролиза в окружающую среду не поступают продукты горения. Другим преимуществом является более широкий спектр отходов, подвергающихся переработке, в том числе твердые отходы. В качестве сырья пиролиза могут быть древесина, уголь, торф, нефтешлам, шины и т.д. Процесс пиролиза сопровождается выработкой тепловой энергии, на выходе получают бионефть и другие ценные продукты.

Обзор научной литературы

Проведенный обзор литературы по применяемым решениям в части утилизации и переработки отходов различного происхождения выявил следующее.

В работе [1] предложена последовательность реализации проекта установки или модернизации теплоэнергетической системы, утилизирующей потоки промышленных отходов. Определены наиболее значимые для горения компоненты, оптимальные условия горения в зависимости от состава продуктов утилизации, состав дымовых газов и их влияние на загрязнение окружающей среды.

В работе [2] приведен метод быстрого абляционного пиролиза, применяемый для переработки агропромышленных отходов, в частности, скорлупы ореха фундука. Полезными продуктами переработки являются уголь, жидкость и газ. Изучен химический состав пиролизной жидкости. Сделан вывод о высоком потенциале и перспективе приведенного метода пиролиза к реализации в борьбе с отходами в рамках природопользования.

В статье [3] показано, что валоризация отходов, т.е. процесс превращения отходов в более полезные продукты, включая химикаты, материалы и топливо, приобретает все большее значение в современном обществе. Кроме традиционных технологий утилизации (размещение на свалках, сжигание и компостирование), приведены характеристики трех важных методов валоризации органических отходов (микроволновый нагрев, пиролиз, использование биологических микроорганизмов).

На очистных сооружениях промышленных предприятий (в частности, нефтеперерабатывающих заводов) успешно применяются методы биологической очистки производственных стоков.

В статье [4] приведена схема экспериментального стенда быстрого абляционного пиролиза древесных отходов для выработки жидкого биотоплива, которое в дальнейшем может быть использовано в качестве заменителя котельного топлива. Для определения рациональных режимных параметров процесса поставлена задача минимизации удельных энергетических затрат на процесс.

Ряд изобретений направлен на разработку способов и устройств для утилизации ТБО, отходов деревообработки, сельскохозяйственного производства, пищевой промышленности, для переработки гудрона, торфа, шламов с целью получения топливных продуктов и химикатов.

В патенте на изобретение [5] предложено создание эффективного способа и устройства многоступенчатого разложения твердого топлива окислением и получение тепловой энергии, топочного газа и синтез-газа с различными свойствами и характеристиками для дальнейшего преобразования в жидкое синтетическое топливо.

В патенте на изобретение [6] решается задача разработки способа быстрого пиролиза биомассы и углеводородсодержащих продуктов и устройства для его осуществления. Отличительной особенностью отмечена возможность

проводить быстрый пиролиз неизмельченного сырья, содержащего, в том числе, и крупные фрагменты.

В работе [7] приведены техническое решение и схема пиролизно-энергетического модуля для переработки органических отходов.

Отмечено, что к особенностям приведенного устройства относятся следующие:

- возможность построения непрерывного замкнутого технологического производственного процесса;
- минимальное содержание угарного газа, при практическом отсутствии углекислого газа в пиропродукте;
- относительная «чистота» выходных продуктов пиролиза, из-за отсутствия процесса бертинирования и осмоления;
- минимальная энергоемкость процесса, по сравнению с другими видами пиролиза;
- управляемость температурными режимами процесса.

Быстрый пиролиз древесных отходов

В настоящее время для переработки отходов различного происхождения применяются разные виды пиролиза, отличающиеся параметрами процесса и конструкциями используемого оборудования. Одним из основных аппаратов процесса является реактор. Применяются следующие типы реакторов: кипящий слой, циркулирующий кипящий слой, абляционный, шнековый, вращающийся конус и др.

Пиролизные установки бывают стационарные и мобильные. К преимуществам мобильных установок можно отнести снижение транспортных затрат. Примером мобильной пиролизной установки со шнековым транспортером является модульная установка быстрого пиролиза биомассы FP-50 (по лицензии канадской компании ABRI-Tech) для получения бионефти.

Другим примером пиролизных установок в мобильном исполнении являются ФОРТАН, ФОРТАН-М (российская компания TT Group LTD, г. Краснодар). Установки предназначены для пиролитической переработки углеродосодержащих отходов: шины, пластики, отходов деревообработки, нефтезагрязненных грунтов, нефтешламов, некондиционных нефтепродуктов, медицинских отходов и т.п. Получаемыми продуктами являются следующие виды топлива: печное топливо, котельное топливо, пиролизное масло, полукокс.

Установка быстрого пиролиза FPP02 (компания «ЭнергоЛесПром», г. Казань) предназначена для термохимической переработки и утилизации биомассы и других органических, в том числе, полимерных отходов с получением жидких органических продуктов и мелкодисперсного угля.

Примером пиролизного оборудования, работающего по схеме низкотемпературного пиролиза, является установка «Т-ПУ1» (компания «Пиролиз-Экопром», г. Нижний Новгород).

Энергетическая установка быстрого пиролиза Цивилизация-20 (г. Санкт-Петербург) перерабатывает торф, сланцы, угли, угольный шлам, древесные отходы, биомассу, солому и иные органические отходы.

Оборудование BLL-30 компании Beston Group LTD (Китай, г. Чжэнчжоу) является установкой непрерывного типа для пиролиза резиновых шин, пластика с разделением на мазут и технический углерод.

Комплекс по переработке углеводородсодержащих отходов методом пиролиза «Пульсар», созданный белорусским предприятием «Аэроэнергопром», позволяет получить печное топливо, дизель, газ, технический углерод, электроэнергию, металлический корд.

Пиролиз различается по температурному режиму процесса (высокотемпературный (900°C и выше), среднетемпературный, низкотемпературный (450-550°C)), по времени нагрева (медленный, быстрый).

Быстрый пиролиз биомассы отличается скоростью нагрева сырья. Подвод тепловой энергии к перерабатываемому сырью осуществляется с высокой скоростью и без доступа кислорода.

Процесс пиролиза биомассы, в частности, древесины, происходит при ее нагревании до температуры 450-550°C. Технология состоит из следующих последовательно работающих процессов:

- подготовка сырья;
- сушка древесины;
- пиролиз;
- конденсация паров.

Особенностью процесса быстрого пиролиза является наличие требований по влажности и степени измельчения сырья (размеры частиц). Исходным сырьем установки пиролиза биомассы является древесная биомасса (опилки, щепа, стружка и т.д.), биомасса в составе отходов сельского хозяйства (солома, шелуха и т.д.). При переработке показатели качества исходного сырья и сырья на последующих стадиях переработки определяются следующими стандартами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Стандарты по определению показателей качества сырья и продуктов пиролиза

Отечественные стандарты	Международные стандарты
Размеры частиц сырья	
ГОСТ Р 56070-2014 ГОСТ 24260-80 ГОСТ 18320-78 ГОСТ 15815-83	
Влажность	
ГОСТ Р 56886-2016 ГОСТ 16483.7-71 ГОСТ 33503-2015	ASTM E871-82 (2019) ISO 11722:2013 ISO 5068-2:2007

Продолжение табл. 1

Зольность	
ГОСТ Р 56881-2016	ASTM E1755-01 (2020) ASTM D1102-84 (2021)
Определение выхода летучих веществ	
ГОСТ Р 55660-2013 ГОСТ Р 56887-2016	ISO 562:2010 ISO 5071-1:2013 ASTM E872-82 (2013)
Стандартные методы испытаний	
ГОСТ Р 56890-2016	ASTM E870-82 (2019)
Содержание углерода и водорода	
ГОСТ 33513-2015	ASTM E777-23

Процесс сушки древесной биомассы предназначен для сушки и дополнительного измельчения подаваемого сырья перед подачей на процесс пиролиза. Важными показателями сырья после процесса сушки являются содержание влаги (не более 5%) и размер частиц.

Процесс пиролиза предназначен для термического разложения сухой древесной биомассы на газовую часть – пиролизный газ (биогаз с парами бионефти) и твердую часть в виде порошка.

Процесс конденсации паров бионефти предназначен для выделения бионефти из пиролизного газа.

Биогаз применяется для сжигания в качестве топлива в теплогенераторе. Бионефть используется для получения биотоплива второго поколения. Зола применяется в качестве удобрения.

На пиролизной установке шнекового типа исходное сырье (древесная биомасса) загружается в приемный бункер и с помощью шнековых транспортеров подается в сушилку.

Затем осушенная древесная биомасса шнековым транспортером подается в питающий бункер процесса пиролиза и последовательно в реактор, где происходит термическое разложение на газовую часть – пиролизный газ (биогаз с парами бионефти) и твердую часть в виде порошка. Для измерения

температурного режима реактора установлены датчики температуры, находящиеся на линии подачи древесной биомассы в реактор, на середине реакционной зоны и на линии выхода пиролизного газа из реактора.

Пиролизный газ, отводимый с верхней части реактора, выводится из процесса пиролиза на процесс конденсации. Пиролизный газ охлаждается, конденсируется, затем стекает в емкость, из которой бионефть откачивается насосом и выводится с установки. Биогаз отводится с верха емкости.

Существующие пиролизные установки снабжены контрольно-измерительными приборами, автоматизированной системой управления и системой противоаварийной защиты. Такое оснащение позволяет осуществлять контроль, регулирование, блокировку параметров процесса, а также снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Заключение

Таким образом, пиролиз – один из эффективных способов, применяемых для переработки и утилизации биомассы.

Кроме того, установление связей между входными, выходными параметрами процесса, показателями качества сырья и продуктов позволит определить тепловой эффект термической переработки и оптимальные параметры ведения процесса по заданному критерию оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комбинированное сжигание потоков различных промышленных отходов в топках котлов / Ю.П. Ярмольчик, Р. Шрёгер, Х. Хаберфельнер, М. Пихлер, Д. Костич, Г.В. Мороз // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2020. Т. 63. № 3. С. 236–252.

2. Переработка отходов скорлупы фундука методом быстрого абляционного пиролиза / А.И. Валиуллина, А.Р. Валеева, С.А. Забелкин, А.Н. Грачев, Г.М. Бикбулатова, Р.М. Хазиахмедова // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3(55). С. 111–115.
3. Массеров Д.А., Кустов М.В. Мировые достижения валоризации органических отходов для экологически устойчивого развития территорий // Отходы и ресурсы: интернет-журнал 2021. №2. URL: <https://resources.today/PDF/06ECOR221.pdf>. (Дата обращения: 17.07.2023).
4. Применение процесса быстрого абляционного пиролиза древесных отходов для выработки жидкого биотоплива / А.Н. Грачев, Ю.П. Семенов, А.Н. Николаев, Н.Ф. Кашапов, А.А. Макаров // Лесной вестник. 2009. № 3. С. 88–91.
5. Патент РФ 2459144. Способ многоступенчатого разложения твердого топлива окислением и устройство для его осуществления / Зотов С.Н., Дзюба В.Н., Жерняк С.В. Заявл. 01.02.2011. Оpubл. 20.08.2012. Бюл. № 23.
6. Патент РФ 2524110. Способ быстрого пиролиза биомассы и углеводородсодержащих продуктов и устройство для его осуществления / И.Б. Самойлов, С.Д. Варфоломеев, А.А. Кузнецов, Е.И. Литвяк Заявл. 08.11.2012. Оpubл. 27.07.2014. Бюл. № 21.
7. Пивоваров А.В. Высокоскоростной пиролиз в биотопливной энергетике // Вопросы прикладной физики. 2013. Вып. 20. С. 3–14.

Поступила в редакцию 17.07.2023

Сведения об авторе

Тугашова Лариса Геннадьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и информационных технологий, 432450, Татарстан, Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, ул. Ленина, 2, Россия.

E-mail: tugashova@yandex.ru

L.G. Tugashova

PYROLYSIS AS AN EFFECTIVE WAY OF BIOMASS PROCESSING

Annotation. The review of methods of utilization and recycling of wastes of different origin is carried out. Advantages of pyrolysis process for waste processing, in particular, biomass are specified. Domestic and international standards for determining quality indicators of raw materials and pyrolysis products are given. The results of literature review on the application of pyrolysis plants for biomass processing are presented. The sequence of technological processes of screw-type pyrolysis unit is shown: feedstock preparation, drying, pyrolysis, condensation. The main quality indicators and parameters of the processes are highlighted.

Keywords: fast pyrolysis, woody biomass, processing, reactor, process.

For citation: Tugashova L.G. [Pyrolysis as an effective way of biomass processing] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 4. (In Russ.) Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp. 513–523. DOI: 10.34828/UdSU.2023.61.38.003.

REFERENCES

1. Yarmol'chik Y.P., Shreger R., Khaberfel'ner Kh., Pikhler M., Kostich D., Moroz G.V. Kombinirovannoe szhiganie potokov razlichnyh promyshlennyh othodov v topkakh kotlov [Combined combustion of various industrial waste streams in boiler furnaces]. *Energetika. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij i energeticheskikh ob"edinenij SNG*, 2020, vol. 63, no. 3, pp. 236–252. (In Russ.).
2. Valiullina A.I., Valeeva A.R., Zabelkin S.A., Grachev A.N., Bikbulatova G.M., Haziahmedova R.M. Pererabotka othodov skorlupy funduka metodom bystrogo ablyacionnogo piroliza [Processing of hazelnut shell waste by fast ablative pyrolysis]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2022, no. 3(55), pp. 111–115. (In Russ.).
3. Masserov D.A., Kustov M.V. Mirovye dostizheniya valorizacii organicheskikh othodov dlya ekologicheskoi ustojchivogo razvitiya territorij [Global achievements in the valorization of organic waste for environmentally sustainable development of territories]. *Othody i resursy*, 2021, no. 2. Available at: <https://resources.today/PDF/06ECOR221.pdf>. (Accessed: 17.07.2023). (In Russ.).
4. Grachev A.N., Semenov YU.P., Nikolaev A.N., Kashapov N.F., Makarov A.A. Primenenie processa bystrogo ablyacionnogo piroliza drevesnyh othodov dlya vyrabotki zhidkogo biotopliva [Application of the process of fast ablative pyrolysis of wood waste for the production of liquid biofuels]. *Lesnoj vestnik*, 2009, no 3, pp. 88–91. (In Russ.).

5. Patent RF 2459144. *Sposob mnogostupenchatogo razlozheniya tverdogo topliva okisleniem i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for multistage decomposition of solid fuel by oxidation and device for its implementation]. Zotov S.N., Dzyuba V.N., ZHernyak S.V. Declared 01.02.2011. Published 20.08.2012. Bulletin no. 23. (In Russ.).
6. Patent RF 2524110. *Sposob bystrogo piroliza biomassy i uglevodorodsoderzhashchih produktov i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for rapid pyrolysis of biomass and hydrocarbon-containing products and device for its implementation]. Samojlov I.B., Varfolomeev S.D., Kuznecov A.A., Litvyak E.I. Declared 08.11.2012. Published 27.07.2014. Bulletin no. 21. (In Russ.).
7. Pivovarov A.V. Vysokoskorostnoj piroliz v biotoplivnoj energetike [High-speed pyrolysis in biofuel energy]. *Voprosy prikladnoj fiziki*, 2013, vol. 20, pp. 3–14. (In Russ.).

Received 17.07.2023

About the Author

Tuganova Larisa Gennadievna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department of automation and information technologies, Almet'yevsk State Oil Institute, 423450, Tatarstan, Almetievsk, Lenin street, 2, Russia.
E-mail: tugashova@yandex.ru