ЭКОЛОГИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ)

DOI - 10.32743/UniChem.2021.83.5.11529

**ПРОЦЕСС ПИРОЛИЗНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ
И УСТАНОВКА ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ****Рахматуллаев Файзулла Нигматуллаевич**

ст. преп., ТГТУ имени И. Каримова,
факультет «Инженерные технологии», кафедра экологии и ООС,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: f.rakhmatullaev7@mail.ru

Турабджанов Садриддин Махаматдинович

д-р техн. наук, проф., ректор, ТГТУ имени И. Каримова,
факультет «Инженерные технологии», кафедра экологии и ООС,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Рахимова Латофат Собиржоновна

канд. техн. наук, доц., ТГТУ имени И. Каримова,
факультет «Инженерные технологии», завкафедрой экологии и ООС,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Кабиллов Носир Махсумович

зав. лаб. «Геохимия рассеянного органического вещества», АО «ИГИРНИГМ»,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**THE PROCESS OF PYROLYSIS TREATMENT OF SOLID WASTE
AND INSTALLATION FOR ITS IMPLEMENTATION****Fayzulla Rakhmatullaev**

Senior lecturer Department of Ecology and Environmental Protection,
Tashkent State Technical University-2, named after Islam Karimov,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Sadritdin Turabdzhanov

Doctor of Technical Sciences, professor, rector
of Tashkent State Technical University-2, named after Islam Karimov,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Latofat Rakhimova

Doctor of Technical Sciences, assistant-professor,
Tashkent State Technical University-2, named after Islam Karimov,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Nosir Kabilov

Head of the laboratory "Geochemistry of Dispersed Organic Matter"
Institute of Geology and Exploration of Oil and Gas Fields
Republic of Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Учеными предлагается рассмотреть твердые бытовые отходы (ТБО) как источник целого ряда ценных веществ, необходимых для применения в некоторых отраслях промышленности. В результате постепенного истощения таких источников природного сырья, как нефть, каменный уголь и др., для большинства видов народного хозяйства особую важность приобретает использование различных видов ТБО в полном объеме. В связи с этим

переработка ТБО в настоящее время приобретает первостепенное значение. В целях реализации малоотходных и безотходных технологий необходимо внедрение новейших научно-технических разработок и достижений. Авторами предложен способ высокотемпературной утилизации углеродсодержащих ТБО на разработанной пиролизной установке. Определено, что оптимальным является пиролиз при температуре 450–550 °С. В процессе пиролиза в качестве продукта переработки получены смеси горючих газов, а также смеси жидких и твердых углеводородов нефтяного ряда, которые могут иметь дальнейшее применение. Разработанный авторами метод пиролизной утилизации ТБО позволяет получить газ высокого уровня и применять его после очистки в виде альтернативного источника энергии. Также при этом получается смесь жидких углеводородов, которые могут использоваться в качестве компонентов моторного топлива, и твердый остаток (кокс, шлак, зола). Твердый остаток после сгорания в бескислородной среде можно использовать в качестве сырья для добавки в состав асфальта. Полученные результаты доказывают, что метод является простым и экономически выгодным.

ABSTRACT

Scientists are invited to consider solid household waste (MSW) as a source of a number of valuable substances necessary for use in some industries. As a result of the gradual depletion of such sources of natural raw materials as oil, coal, etc., for most types of national economy, the use of various types of solid waste in full becomes particularly important. In this regard, the processing of solid waste is now of paramount importance. In order to implement low-waste and non-waste technologies, it is necessary to introduce the latest scientific and technical developments and achievements. The authors propose a method for high-temperature utilization of carbon-containing MSW at the developed pyrolysis plant. It is determined that the optimal pyrolysis is the temperature in the range of 450–550 °C. In the process of pyrolysis, mixtures of combustible gases, as well as mixtures of liquid and solid hydrocarbons of the oil series, which can be further used, are obtained as a processing product. The method of pyrolysis utilization of solid waste developed by the authors makes it possible to obtain high-level gas and use it after purification in the form of alternative energy. It also produces a mixture of liquid hydrocarbons that can be used as components of motor fuel and a solid residue (coke, slag, ash). Black, solid part after combustion in an oxygen-free environment in the installation, which can be used as a raw material for adding to the composition of asphalt. The results obtained prove that the method is simple and cost-effective.

Ключевые слова: обезвреживание, твердые бытовые отходы (ТБО), пиролиз, пирогаз, газификация, деструкция, утилизация, альтернативная энергия.

Keywords: neutralization, solid household waste (MSW), pyrolysis, pyrogas, gasification, destruction, utilization, alternative energy.

Процесс жизнедеятельности характеризуется появлением большого количества различных видов отходов, в том числе и твердых бытовых (ТБО). Это связано со значительным увеличением потребностей современного населения. За последние годы масса ТБО стремительно увеличивается, соответственно, возрастает и попадание вредных химических, биологических и биохимических веществ в окружающую нас среду. Токсичные вещества несут значительный вред здоровью людей, ухудшают экологическое состояние атмосферы и гидросферы. В связи с этим одной из важнейших задач для Узбекистана является исследование оптимального пути решения проблемы ТБО и уменьшение воздействия их на окружающую среду [7; 5]. В республике, согласно расчетам, прогноз годового объема образования ТБО оценивается в пределах 14–14,5 млн тонн, а с учетом динамики роста населения в среднем ежегодный прирост составляет 1,5 % [6]. Более 95 % образующихся отходов подвергают захоронению на полигонах. Это приводит к строительству новых полигонов для уплотнения и складывания ТБО в открытых условиях, в результате чего происходит загрязнение атмосферного воздуха биогазом и парниковыми газами.

Проблема полного уничтожения или частичной утилизации ТБО – бытового мусора исключительно актуальна, прежде всего, с точки зрения отрицательного воздействия на окружающую среду, особенно в городских условиях [3].

В настоящее время в городе Ташкенте существуют 33 полигона с площадью 183,3 гектара, накапливающих 40,580 тыс. тонн ТБО [4]. Захоронение ТБО на полигонах в огромных объемах приводит к загрязнению почвы, воздушной и водной среды. С целью утилизации широко распространены методы сжигания ТБО. Однако отходящие газы при сжигании отходов не очищаются и выделяются в атмосферу. Кроме того, технология сжигания ТБО должна учитывать морфологический состав бытовых отходов, так как он непостоянен, для каждого региона страны имеет свои особенности [1; 9].

В исследованиях зарубежных авторов [2] представлен анализ современных процессов пиролиза для переработки отходов потребления. Приведены основные технические решения: тип оборудования, параметры процессов, вид и выход получаемых продуктов переработки. Получение высокой температуры для пиролизной переработки за счет разложения органической части ТБО с последующим обеспечением дополнительной температуры при термической обработке, что обосновывает экономическую эффективность данной технологии.

Целью данного исследования является обезвреживание твердых бытовых отходов путем пиролизной переработки, в частности технологии пиролиза органических компонентов отходов как наиболее экологически безопасной по сравнению со сжиганием [14]. Пиролиз предполагает разложение отходов в анаэробных условиях при температуре от 300 до

800 °С. Полученные продукты пиролиза включают газообразный продукт (синтез-газ), жидкость (гудрон) и уголь с золой в качестве нежелательного остатка [11].

Экспериментальная часть. Для эксперимента взвешены смешанные ТБО в объеме 200 кг. Разработанная нами экспериментальная пиролизная установка работала в течение 1,5–2 часов при температуре 450–550 °С (рис. 1). Масса ТБО, подлежащая пиролизу, составила 200 кг в соответствии с мощностью установки. Необходимую температуру обеспечивала камера сгорания, снабженная специальной горелкой для сжигания пирогаза. Исходный материал (отходы) загружался в реактор, который герметично закрывался. Затем с помощью электрической

дуги в нем повышалась температура. При достижении температуры около 400 °С без доступа воздуха начинается процесс разложения ТБО в бескислородной среде (анаэробная). Образующаяся смесь газов и паров отводилась по трубопроводу через сепаратор в газовый счетчик и дальше в накопитель или на факел. В сепараторе происходит разделение на газовую и жидкую фазу, а также при охлаждении смеси горючих газов наблюдалось выделение жидкости темно-коричневого цвета, которая собиралась в емкости накопителя. Химический состав смеси горючих газов определен лабораторным анализом. Разработанную схему установки можно представить следующим образом:

1 – бункер-питатель; 2 – узел загрузки; 3 – патрубок; 4 – ворошитель; 5 – нагревающий элемент; 6 – двигатель-редуктор; 7 – патрубок газоход; 8 – футеровочная обшивка; 9 – камера пиролиза; 10 – ТБО; 11 – запорная перфорированная перегородка; 12 – затвор; 13 – камера выгрузки; 14 – затвор

Рисунок 1. Экспериментальная установка для пиролизной переработки ТБО

Продуктами пиролиза являются углеродистый твердый остаток, жидкая фракция, включающая водный раствор, смолообразные вещества и газообразные продукты. Соотношения между количествами получаемых газообразных, жидких и твердых продуктов, а также их состав зависят от условий пиролиза и состава исходного продукта.

Теплопередача является основным фактором при проектировании пиролизной установки [13]. Тепловой баланс типичного пиролизера можно записать как:

[Тепло, выделяемое при преобразовании полукокса] + [Тепло входящего потока] = [Тепло, необходимое для пиролиза] + [Потери тепла на поверхности] + [Тепло в выходящих продуктах].

В условиях пиролиза происходит газификация органической части отходов, в результате чего образуется газ, содержащий CO, H₂, CO₂, H₂O, N₂. Также

при этом получается смесь жидких углеводородов, которые могут использоваться в качестве компонентов моторного топлива, и твердый остаток (кокс, шлак, зола).

Летучие продукты, полученные при пиролизе, вводятся в газовый хроматограф для их разделения и идентификации [8]. Для определения состава газообразных продуктов использован современный газовый хроматограф (ГХ) Кристаллюкс-4000М (Россия).

Результаты исследования. В зависимости от времени выходящий объем газов во время пиролиза указывает на то, что большая часть газообразных продуктов выделилась в течение первых 15–20 минут эксперимента (рис. 2, 3).

Рисунок 2. Зависимость отходящих газов в объеме (мл) от времени процесса (мин)

В начальной стадии эксперимента за 20 минут объем метана достигает 53 % от общего объема, а через 40 минут наблюдается уменьшение его до 49,8 % от общего объема.

Согласно хроматографическим исследованиям, основными углеводородами в составе газообразных

Рисунок 3. Зависимость выхода газов в заданные промежутки времени (мин)

продуктов пиролиза смешанных ТБО являются метан, этан, пропан, бутан и гептан. Содержание этих углеводородов в составе пиролизного газа в большей степени определяет его теплотворную способность (рис. 4).

Рисунок 4. Хроматографические снимки газообразного продукта

Исследование влияния температуры на выделяемые массы твердого остатка, жидкой фракции и газообразных продуктов показывает, что оптимальным пиролизом является температура в интервале 450–550 °С. В температурном интервале от 40 до 100 °С для образцов наблюдалось образование паров физически и химически связанной воды. Помимо получения большого процентного содержания газа в конечных продуктах, выход водорода при пиролизе

и паровоздушной газификации увеличивается с увеличением температуры [15]. В интервале температуры 450–550 °С для образца ТБО наблюдается выделение газообразных веществ, связанных с процессами глубокой деструкции и интенсивным образованием летучих продуктов (рис. 4).

В исследуемых источниках [16] приведены простейшие вторичные реакции, влияющие на состав газообразных продуктов пиролиза (рис. 5).

- 1) $C + CO_2 = 2CO$;
- 2) $C + H_2O(g) = CO + H_2$;
- 3) $C + 2H_2O(g) = CO_2 + 2H_2$;
- 4) $C + 2H_2 = CH_4$;
- 5) $CO + H_2O(g) = CO_2 + H_2$;
- 6) $CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O(g)$.

Рисунок 5. Состав и выход газообразных продуктов пиролиза в различных единицах концентрации

Синтез-газ состоит в основном из CO и H₂ (суммарно 85 %) с небольшой долей CO₂ и CH₄ [12]. Использование смешанных ТБО в нашем случае увеличивает рост углеводородной составляющей C₁–C₅, что приводит к увеличению общей теплоты сгорания газообразных продуктов пиролиза.

Увеличение температуры процесса свыше 550 °C не приводит к возрастанию общей теплоты сгорания полученной газообразной смеси. Это подтверждает факт, что состав отходящих газов при пиролизе зависит от морфологического состава ТБО. Более высокая скорость нагрева, более высокая температура

пиролиза и более короткое время пребывания максимизируют выход газа [10].

Выводы

Таким образом, разработанный метод утилизации ТБО позволяет получить газ высокого уровня (более 50 %) и применять его после очистки в виде альтернативного источника. Твердый остаток массой 5 кг можно использовать в качестве одного из компонентов в составе асфальта. Предложенный метод является достаточно простым, надежным и экономически выгодным и может быть использован для утилизации ТБО.

Список литературы:

1. Булычев Э.Ю., Миронов Л.В., Сухорукова С.М. Химико-технологические решения проблемы твердых бытовых отходов и их социо-эколого-экономические аспекты // Вестник МИТХТ. – 2008. – Т. 3, № 2. – С. 24–29.
2. Гунич Е.В., Янчуковская С.В. Анализ процессов пиролиза отходов производства и потребления // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. – № 1 (16). – С. 86–93.
3. Коровин И.О. Методические указания к практической работе «Утилизация твердых бытовых отходов пиролизным методом» / И.О. Коровин, А.В. Медведев, Р.Р. Багабиев [и др.]. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2003. – 20 с.
4. Отчет по проведенному пилотному исследованию морфологического состава ТБО в пяти регионах Республики Узбекистан в рамках проекта ПРООН/ЮНЕП/Узгидромет «Программа подготовки Узбекистана к доступу к ресурсам ЗКФ».
5. Поэтапный переход от захоронения твердых бытовых отходов к современным методам их переработки / Ф.Н. Рахматуллаев, С.М. Турабджанов, А.А. Арипов, Л.С. Рахимова // VII Международная заочная научно-практическая конференция, посвященная Всемирному дню охраны окружающей среды, «Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов» (Минск, 5 июня 2020 г.). – С. 131–132.
6. Экологическая и экономическая перспектива перехода к переработке твердых бытовых отходов во вторичное сырье / Ф.Н. Рахматуллаев, У.Ш. Абдуллаев, С.М. Турабджанов, Т.В. Пономарёва // Сборник материалов VII Международной заочной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды, «Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов» (Минск, 5 июня 2020 г.). – С. 129–130.
7. Экологические аспекты обращения с твердыми бытовыми отходами / Ф.Н. Рахматуллаев, У.Ш. Абдуллаев, С.М. Турабджанов, Т.В. Пономарёва [и др.] // Сборник материалов VIII Всероссийской конференции «Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды» (Чебоксары, 16–17 апреля 2020 г.). – С. 110.
8. Garrigues S. Mateo. Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition). – 2005.

9. Investigation of morphological composition and evaluation of the effectiveness of municipal solid waste recycling methods in Uzbekistan / F.N. Rakhmatullayev, S.M. Turabjanov, U.S. Abdullaev, T.V. Ponamaryova [et al.] // Technical sciences and innovation. – 2020. – № 2. – P. 51–58.
10. Kadilar C., Cingi H. Theoretical Approaches, Comprehensive Sampling and Sample Preparation. – Academic Press, 2012. – P. 1–30 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381373-2.00001-6>.
11. Lakhveer Singh, Abu Yousuf and Durga Madhab Mahapatra. Bioreactors. Sustainable Design and Industrial Applications in Mitigation of GHG Emissions. – Book, 2020.
12. Mohammad J. Taherzadeh, Kim Bolton. Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches. – Book, 2019.
13. Prabir Basu. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction (Third Edition). – Academic Press, 2018. – P. 155–187 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812992-0.00005-4>.
14. Rakhmatullaev F.N., Turabdzhanov S.M. Clearance of solid household waste with the reception of alternative types of energy carriers // Technical sciences and innovation. – 2020. – № 4. – P. 46–50.
15. Stavros G. Pouloupoulos and Vassilis J. Inglezakis. Environment and Development Basic Principles. – Human Activities, and Environmental Implications Book, 2016.
16. Sulman E. Catalytic Pyrolysis of Polymeric Cord of Used Automobile Tyres / E. Sulman, Yu. Lugovoy, Yu. Kosivtsov // Abstracts of EuropaCat IX “Catalysis for a Sustainable world” (30th August – 4th September 2009). – P. 5–56, 366.