

Свалочный газ как альтернативный источник энергии

Р.С. Рамазанов ¹

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
ул. Костюкова 4, г. Белгород 308012, Российская Федерация

✉ e-mail: boss.rafshan@mail.ru

Резюме

Цель исследования. С ростом численности населения Земли, увеличением числа мегаполисов растёт потребление различных товаров, отходы которых со временем превращаются в мусор. Растущее с каждым годом количество всевозможных отходов и их негативное воздействие на окружающую среду является проблемой мирового масштаба. Однако при всех существующих способах утилизации отходов в нашей стране применяется наименее экологичный способ утилизации отходов – утилизация по средствам захоронения на полигонах ТБО, ТКО. Полигоны ТБО, ТКО являются источником свалочного газа неконтролируемые выбросы которого оказывают негативное влияние на экологию. При этом свойства свалочного газа позволяют использовать его в качестве источника энергии. Проведённый анализ проблем показал актуальность направления использования свалочного газа как альтернативного вида газового топлива, а также разработки устройств для его эффективного сжигания.

Методы. В статье рассмотрено влияние, оказываемое на биосферу Земли свалками твёрдых бытовых отходов (ТБО). Проведён анализ мировой проблемы утилизации отходов, рассмотрены пути решения. На основе методики, указанной в ГОСТ 33998-2016 «Приборы газовые бытовые для приготовления пищи. Общие технические требования, методы испытаний и рациональное использование энергии» проведено исследование эффективности процесса сжигания свалочного газа в разработанной конструкции газогорелочного устройства, оснащённого тепловым рассекателем.

Результаты. На основании экспериментальных исследований для газогорелочного устройства разработанной конструкции получены значения КПД, % горелки и содержание угарного газа (СО, мг/м³) в продуктах сгорания в зависимости от длины теплового рассекателя.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований показали высокую эффективность оригинального газогорелочного устройства при сжигании свалочного газа.

Ключевые слова: полигон ТБО; утилизация отходов; свалочный газ; сжигание; газовая горелка.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Рамазанов Р.С. Свалочный газ как альтернативный источник энергии // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(2): 23-34. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-2-23-34>.

Поступила в редакцию 15.03.2021

Подписана в печать 28.04.2021

Опубликована 24.08.2021

Landfill Gas as an Alternative Energy Source

Rafshan S. Ramazanov ¹

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
4 Kostyukova str., Belgorod 308012, Russian Federation

✉ e-mail: boss.rafshan@mail.ru

Abstract

Purpose of research. With the increase of population and number of megacities, the consumption of various goods increases and the waste of which eventually turns into garbage. The growing amount of all kinds of waste every year and their negative impact on the environment is a global problem. However, with all existing methods of waste disposal, the least environmentally friendly method of waste disposal is used in our country - disposal by means of burial ground disposal at solid waste landfills. Landfills of solid waste are a source of landfill gas, the uncontrolled emissions of which have a negative impact on the environment. At the same time, the properties of landfill gas make it possible to use it as an energy source. The analysis of the problems *попы* showm the relevance of the direction of using landfill gas as an alternative type of gas fuel, as well as the development of devices for its efficient combustion.

Methods. The article discusses the impact of solid domestic waste (MSW) on the Earth's biosphere. The analysis of the global problem of waste disposal is carried out, solutions are considered. Based on the methodology specified in GOST 33998-2016 "Gas household appliances for cooking. General technical requirements, test methods and rational use of energy", we have carried out a study of the efficiency of the landfill gas combustion process in the developed design of a gas burner device equipped with a thermal splitter.

Results. On the basis of experimental studies for a gas burner device of the developed design, the values of efficiency, % of the burner and the content of carbon monoxide (CO, mg / m³) in the combustion products have been obtained, depending on the length of the thermal divider.

Conclusion. The results of experimental studies have shown the high efficiency of the original gas burner device when burning landfill gas.

Keywords: solid waste landfill; waste utilization; landfill gas; burning; gas-burner.

Conflict of interest. The author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Ramazanov R. S. Landfill Gas as an Alternative Energy Source. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(2): 23-34 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-2-23-34>.

Received 15.03.2021

Accepted 28.04.2021

Published 24.08.2021

Введение

С ростом численности населения Земли, которое приближается к восьми миллиардам, увеличением числа мегаполисов растёт потребление различных товаров, отходы которых со временем превращаются в мусор.

С середины 1980-х годов биосфере Земли стало сложно нейтрализовать ядовитые отходы деятельности человечества. В 2000-е годы для такой нейтрализации требовалось 1,2 поверхности земного шара, а в 2019 г – 1,6. Созданная человечеством проблема крайне серьёзна, и

если её не решать, то в ближайшие десятилетия может произойти одноразовая биосферная катастрофа, после которой жизнь на Земле исчезнет [1-2].

Современные крупные города ежегодно производят миллионы тонн разнообразных отходов, а в мире ежегодно образуется около 420 млрд т твёрдых коммунальных отходов (ТКО), при этом объём их образования со временем только возрастает.

В основном компонентами отходов потребления являются: использованная упаковка, пищевые остатки, отработанные товары и материалы (в том числе опасные – аккумуляторы, батарейки, ртутные и обычные лампы накаливания,

бытовая химия), изношенные автомобильные шины, уличный мусор, срезанные ветви, листья и т.п. [3-5].

На рис. 1 представлено мировое распределение ежегодного объема твердых коммунальных отходов, образующихся на душу населения [6].

Крупнейшим производителем отходов на душу населения во всём мире является Канада - 36,1 тонн на человека в год, в США данный показатель составляет 26 тонн на человека в год [7]. Для Российской Федерации данный показатель равен 450 кг на человека в год, а годовой объём производимых твёрдых коммунальных отходов в России около 65 млн т в год [8-9].

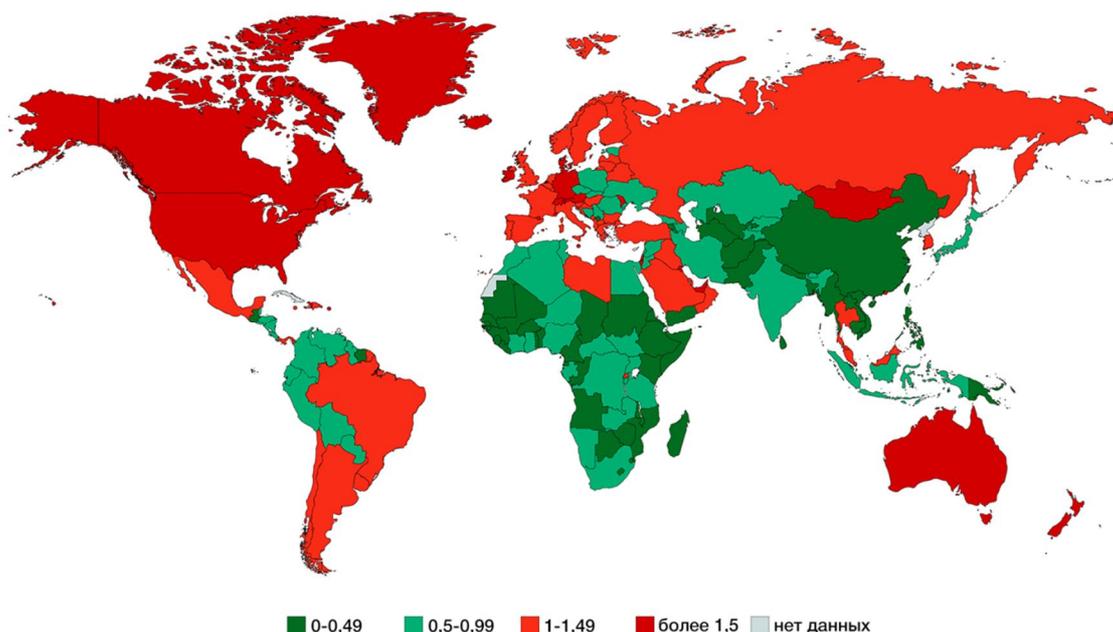


Рис. 1. Мировое распределение объема твердых коммунальных отходов, (килограммы / на душу населения / день)

Fig. 1. World distribution of municipal solid waste volume, (kilograms / per capita / day)

Различают три основных подхода к утилизации и переработке отходов: захоронение, сжигание и вторичная переработка.

Способ вторичной переработки заключается в повторном использовании отходов. Важнейшим условием при этом является тщательная сортировка, это поз-

воляет экономить энергию, снизить объем потребления природных ресурсов и значительно сократить негативное воздействие на окружающую среду.

Сжигание представляет собой способ утилизации отходов на мусоросжигательных заводах за счёт воздействия высоких температур (около 1200-1700 °С). Данный метод позволяет значительно сократить массу отходов, однако при этом образуется дым, который загрязняет атмосферу так как содержит углекислый газ, диоксины, канцерогены, пыль, тяжелые металлы и оксид азота.

В настоящее время технология вторичной переработки мусора наиболее развита в странах Европейского союза (30% отходов повторно используется в различных отраслях производства). Технологическим лидером в сфере обращения с отходами является Япония, 80% отходов утилизируется посредством

сжигания с одновременным получением энергии, а остальная часть отходов проходит вторичную переработку или подвергается компостированию. На рис. 2 представлена диаграмма по распределению видов обработки мусора в некоторых странах [10-12].

Наиболее распространённым и наименее экологичным способом избавления от ТКО является его захоронение (депонирование) – организованный сбор и складирование на специальных полигонах.

В России 94 % ТКО подвергается захоронению на полигонах, для Китая данный показатель составляет 60 %, США – 53 %, среднее значение для стран Европейского союза – 24 %, в Японии подвергается захоронению только зола и пепел, образуемый в результате сжигания отходов на мусороперерабатывающих заводах [13, 14].

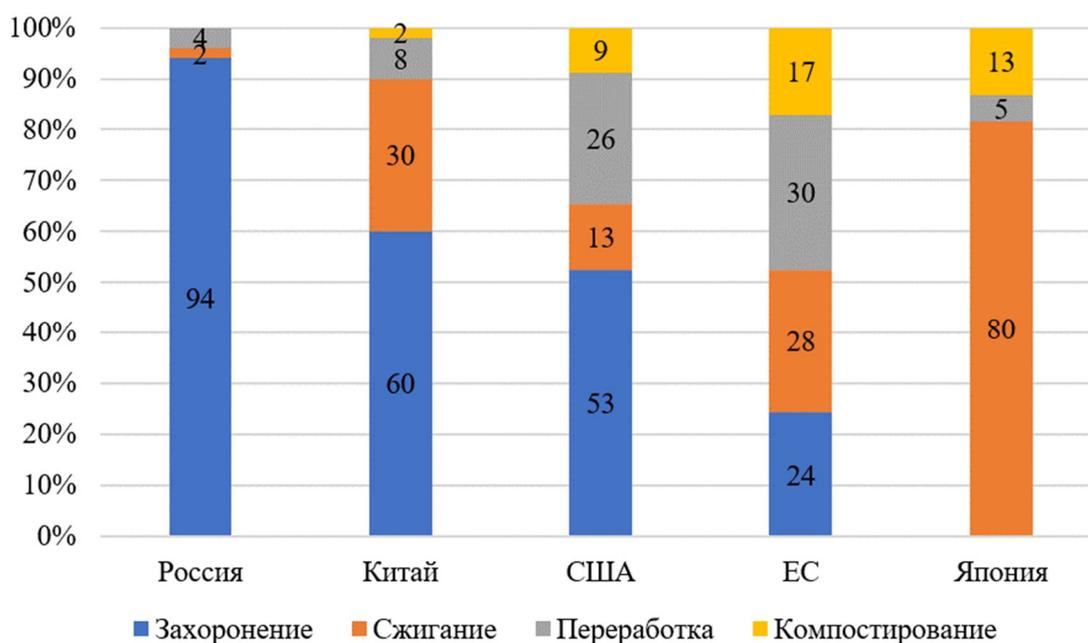


Рис. 2. Виды обработки мусора по странам, %

Fig. 2. Types of waste processing by country, %

По данным открытых информационных источников площадь мусорных полигонов в России составляет более 4 млн. га, в США суммарная площадь полигонов около 3 млн. га [11].

В Российской Федерации проблема утилизации твёрдых коммунальных отходов весьма актуальна. Проект утилизации ТКО города Москвы на территории Архангельской области вызвал многочисленные гражданские протесты. Аналогичные протесты происходили на территории Московской области.

Свалочный газ имеет следующий примерный состав: 35-65% метана, 25-50% двуокиси углерода, не более 3% кислорода и водорода, до 10% азота, присутствует сероводород до 5%, а также пары воды¹ [15-17].

Наличие сероводорода и других токсичных компонентов в составе свалочного газа придает ему характерный неприятный запах. При продолжительном воздействии оказывает на организм человека негативное влияние, вызывая затруднённое дыхание, заболевания органов дыхания, нарушение кровообращения, головные боли.

На территории полигонов не редки случаи самовозгорания отходов, при этом образуется едкий токсичный дым, подхваченный ветром, может разноситься к близлежащим населённым пунктам, что оказывает негативное влияние на самочувствие, и наносит вред здоровью проживающего там населения, а скопления

свалочного газа приводят к угрозе пожара или взрывообразования как на самих полигонах ТКО, так и в близлежащих зданиях и сооружениях.

В Российской Федерации реализованных проектов по утилизации свалочного газа с использованием его энергетического потенциала очень мало. Среди наиболее известных можно выделить: полигон «Ядрово» Московской области площадью 10 га, производит 1400 м³/ч свалочного газа, который сжигается в факеле, полигон «Кучино» Московской области площадью 50 га производит 2500 м³/ч свалочного газа, который подаётся на теплоэлектростанции, а излишки сжигаются в факеле, полигон «Преображенка» Самарская область, площадь газосбора составляет 6000 м² объёмы свалочного газа 245 м³/ч газа который подаётся на теплоэлектростанции, а излишки сжигаются в факеле.

Свалочный газ относится к числу парниковых газов, так как метан, имеющийся в его составе, гораздо эффективнее поглощает солнечное тепло и по разным данным оказывает в 25 раз большее влияние, по сравнению с диоксидом углерода, на процесс глобального потепления [18].

Одной из проблем утилизации свалочного газа является организация процесса его сжигания. Так свалочный газ имеет сравнительно невысокое содержание метана CH₄, содержит балластные газы, пары тяжелых металлов, CO, CO₂. Возникают большие трудности с его сжиганием, а предварительная очистка свалочного газа от примесей требует значительных материальных затрат. Поэтому

¹ Свалочный газ // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Свалочный_газ (дата обращения 23.02.2021).

му применение типовых газогорелочных устройств для эффективного сжигания свалочного газа затруднительна.

Материалы и методы

Нами предложена оригинальная конструкция газогорелочного устройства, общий вид которого представлен на рис. 3 (Патент РФ № 198280 опубл. 29.06.2020) [19].

Основным отличием разработанного газогорелочного устройства является наличие теплового рассекателя, который обеспечивает предварительный подогрев газозвушной смеси в корпусе.

В Белгородской области сбор, обработку и утилизацию отходов осуществляет ООО «ТК «Экотранс», которое ввела в эксплуатацию систему сбора свалочного газа на полигоне ТКО в Белгородском районе. Суммарная площадь газосбора составляет 1,75 га, производительность образования свалочного газа – 1600 м³/ч [20]. Получаемый газ расходуется на: питание газопоршневой станции, которая генерирует 130 кВт электроэнергии, котельного агрегата для отопления производственного здания площадью 1500 м², а также линии сушки древесины.

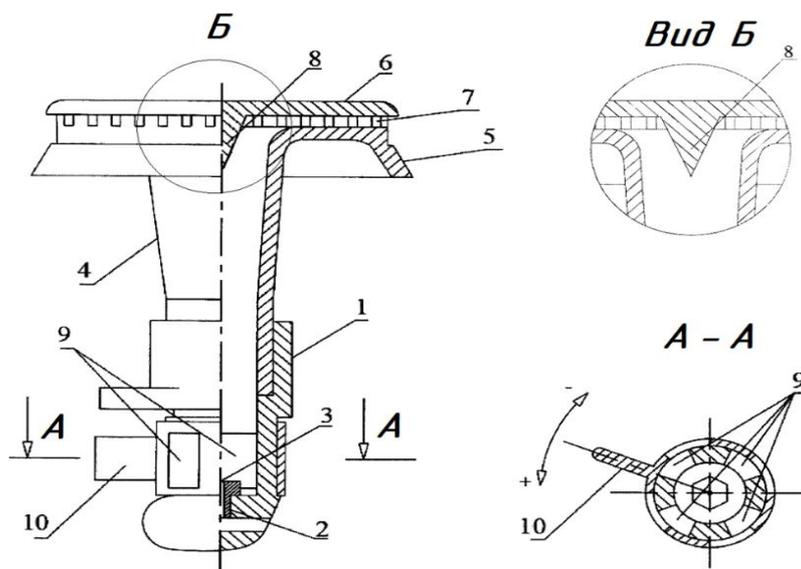


Рис. 3. Конструкция газогорелочного устройства: 1 – корпус; 2 - газовое сопло; 3 - аксиальное выходное отверстие; 4 – смеситель; 5 – выходной торец смесителя; 6 – крышка; 7 – огневые отверстия; 8 – тепловой рассекатель; 9 – отверстия подачи первичного воздуха; 10 – регулятор подачи первичного воздуха

Fig. 3. The design of the gas burner device: 1 – body; 2 – gas nozzle; 3 – axial outlet; 4 – mixer; 5 – mixer outlet end; 6 – cover; 7 – firing holes; 8 – thermal divider; 9 – openings for primary air supply; 10 – primary air supply regulator

На существующей технологической площадке мусороперерабатывающего завода ООО «ТК «Экотранс» была разработана экспериментальная установка для исследования процесса сжигания свалочного газа в бытовом газовом обо-

рудовании, оснащённом оригинальным газогорелочным устройством.

На рис. 4 представлена принципиальная схема экспериментальной установки по сжиганию свалочного газа.

От скважин полигона ТБО

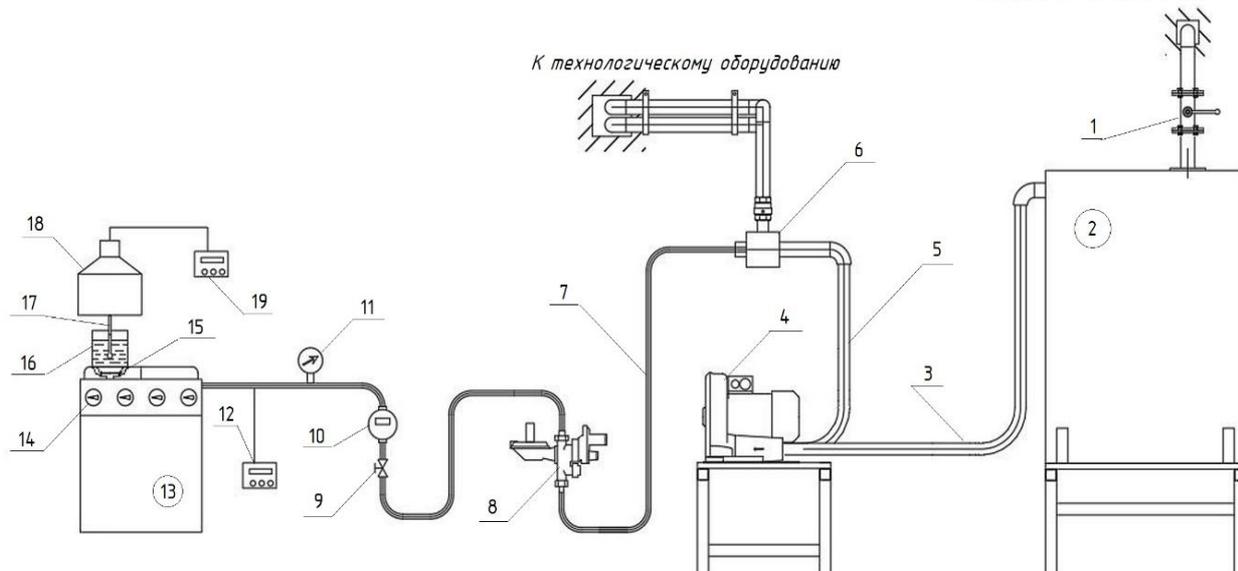


Рис. 4. Принципиальная схема экспериментальной установки по сжиганию свалочного газа:
 1 – основной запорный кран; 2 – конденсатосборник; 3 – всасывающий газопровод;
 4 – вихревая газодувка GreenTech 2RB 710-040; 5 – нагнетающий газопровод;
 6 – газовый распределительный узел; 7 – шланг подвода свалочного газа; 8 – регулятор давления газа РДГК-10; 9 – кран шаровый; 10 – счётчик газовый; 11 – газовый манометр; 12 – газоанализатор (CH₄); 13 – плита газовая бытовая; 14 – ручка крана горелки стола; 15 – газовая горелка; 16 – испытательный сосуд; 17 – термометр; 18 – зонд отбора CO; 19 – газоанализатор дымовых газов (CO)

Fig. 4. Schematic diagram of a landfill gas incineration pilot plant: 1 – main shut-off valve; 2 – condensate collector; 3 – suction gas pipeline; 4 – vortex gas blower GreenTech 2RB 710-040; 5 – injection gas pipeline; 6 – gas distribution unit; 7 – landfill gas supply hose; 8 - gas pressure regulator RDGK-10; 9 – ball valve; 10 – gas meter; 11 – gas pressure gauge; 12 – gas analyzer (CH₄); 13 – household gas stove; 14 – handle of the table burner tap; 15 – gas burner; 16 – test vessel; 17 – thermometer; 18 – CO sampling probe; 19 – flue gas analyzer (CO)

Исследование эффективности процесса сжигания свалочного газа в газогорелочном устройстве производилось на основе методики, указанной в ГОСТ 33998-2016 (EN 30-1-1+A3:2013, EN 30-2-1:2015)¹.

Средний состав исследуемого свалочного газа CH₄ = 52%, CO₂ = 48 %,

геометрические параметры теплового расщепителя: диаметр основания конической части $d = 6$ мм, длина $l = 6, 12, 18, 24$ мм.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные исследования позволили установить зависимость КПД горелки от длины расщепителя, которая представлена на рис. 5. Содержание угарного газа (CO, мг/м³) в продуктах сгорания представлено на рис. 6.

Из анализа полученных данных возрастание КПД наблюдается при увели-

¹ ГОСТ 33998-2016. Приборы газовые бытовые для приготовления пищи. Общие технические требования, методы испытаний и рациональное использование энергии. М.: Стандартинформ, 2017. 119 с.

чении длины рассекателя, что вызвано более интенсивным подогревом газовой смеси внутри корпуса горелки. Некоторое увеличение содержания угарного газа (CO , мг/м^3) при росте

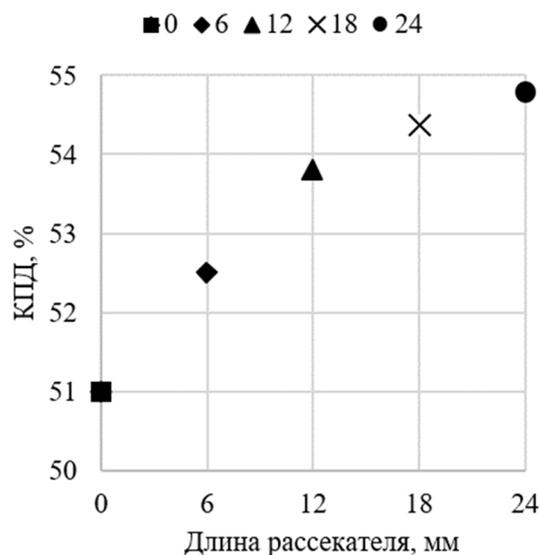


Рис. 5. Зависимость КПД, % горелки от длины рассекателя

Fig. 5. Dependence of efficiency, % of burner on the length of the splitter

КПД вызвано недожогом газовой смеси за счёт поднятия пламени из-за форсирования потока газовой смеси на выходе из огневых отверстий.

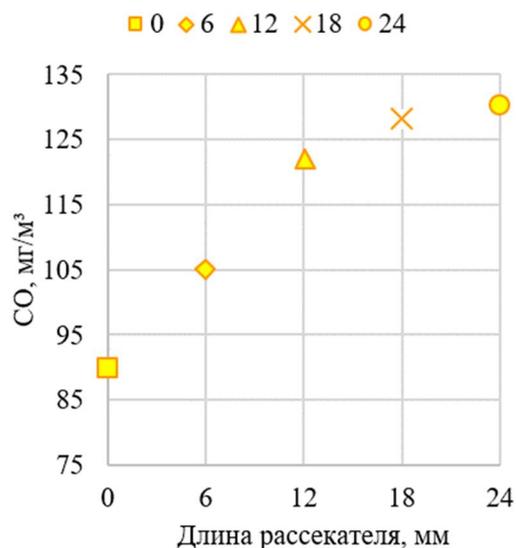


Рис. 6. Зависимость CO , мг/м^3 от длины рассекателя

Fig. 6. Dependence of CO , mg / m^3 on the length of the splitter

Выводы

Результаты экспериментальных исследований показали высокую эффективность оригинального газогорелочного устройства при сжигании свалочного газа на полигоне ТБО г. Белгорода ООО «ТК «Экотранс».

Полученные зависимости отражают положительное влияние конструктивных особенностей предлагаемого газогорелочного устройства (применения теплового рассекателя) для предварительного подогрева свалочного газа на эффективность его сжигания.

Список литературы

1. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Архитектура градоустройства // Научный журнал строительства и архитектуры. 2020. №4. С. 121-129.
2. Зубаков В. А. Глобальный пик эндоэкологического отравления – биологический предел существования человечества // Успехи современного естествознания. 2003. № 5. С. 103-104.

3. Мирный А.Н. Санитарная очистка и уборка населенных мест. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. 413 с.
4. Cho H.S., Kim J.Y., Moon H.S. Effect of quantity and composition of waste on the prediction of annual methane potential from landfills // Elsevier Science Publishing Company, Inc.: Bioresource technology. 2012. Vol. 109. P. 86-92.
5. Management of municipal solid waste methane potential by using preliminary treatment / N. Sliusar, A. Pukhnyuk, V. Korotaev, Y. Matveev // 15th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2015. Albena, Bulgaria, 2015. P. 483-490.
6. Шилкина С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России // Отходы и ресурсы: интернет-журнал. 2020. №1. URL: <https://resources.today/PDF/05ECOR120.pdf> (дата обращения 23.02.2021).
7. Estimated annual waste per capita of the leading waste producing countries worldwide as of 2019 // Energy & Environment, Waste Management – 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/1168066/largest-waste-producing-countries-worldwide-per-capita/>. (дата обращения 23.02.2021).
8. Арсентьев В.А., Михайлова Н.В. Переработка отходов: использование ресурсного потенциала // Твердые бытовые отходы. 2007. № 8. С. 60-63.
9. Утилизация мусора в России. Как реформируют отрасль // Информационное агентство ТАСС: 2019. URL: [https://tass.ru/info/6000776#:~:text=Объем%20твердых%20коммунальных%20отходов%20\(ТКО,%20Твердые%20бытовые%20отходы%20\)](https://tass.ru/info/6000776#:~:text=Объем%20твердых%20коммунальных%20отходов%20(ТКО,%20Твердые%20бытовые%20отходы%20)). (дата обращения 23.02.2021).
10. Мировой рынок мусора: захоронение отходов — удел отстающих стран // Интернет-газета «Реальное время». 2020. URL: <https://realnoevremya.ru/articles/166395-mirovoy-musornyy-rynok-poka-v-peredovyh-stranah-szhigayut-i-sortiruyut-v-rossii-plodyat-poligony> (дата обращения 23.02.2021).
11. Системы управления бытовыми отходами разных стран: рецепты для России // Институт экономики роста им. Столыпина П.А.. 2019. URL: <https://stolypin.institute/analytics/sistemy-upravleniya-bytovymi-othodami-raznyh-stran-retsepty-dlya-rossii/> (дата обращения 23.02.2021).
12. Европа из 249 млн тонн отходов 47 % сжигает и 24 % отправляет на свалку // Научно-практический журнал: Твёрдые бытовые отходы. Новости Отрасли. 2019. URL: <https://news.solidwaste.ru/2019/02/evropa-pererabatyvaet-szhigaet-i-opravlyaet-na-svalku/> (дата обращения 23.02.2021).
13. Хорошавин Л.Б., Беляков В.А., Свалов Е. А. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов / науч. ред. А. С. Носков. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 220 с.

14. Оценка качества техногенно-нарушенных земель территории полигона ТБО г. Белгорода / Е.А. Пендюрин, Л.М. Смоленская, И.В. Старостина, С.Ю. Рыбина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 173-176.
15. Tchobanoglous G., Kreith F. Handbook of solid waste management. (2nd ed.), McGraw-Hill, New York, United States, 2002. 834 p.
16. Energy efficiency and environmental impact of biogas utilization in landfills / E.S. Karapidakis, A.A. Tsave, P.M. Soupios, Y.A. Katsigiannis // Int. J. Environ. Sci. Tech., 2010. Vol. 7. No 3. Pp. 599-608.
17. Park J.W., Shin H.C. Surface emission of landfill gas from solid waste landfill // Elsevier Science Publishing Company, Inc.: Atmospheric environment. 2001. Vol. 35. No 20. Pp. 3445-3451.
18. Carbon Dioxide, Methane, Nitrous Oxide, and the Greenhouse Effect // Conservation in a Changing Climate. 2020. URL: <https://climatechange.lta.org/get-started/learn/co2-methane-greenhouse-effect/> (дата обращения 23.02.2021).
19. Пат. № 198280 РФ. МПК F23D 14/00 Газовая горелка / Р. С. Рамазанов, Д. Ю. Суслов, Л. А. Кущев, Д. О. Темников, И. В. Лобанов. № 2020107280; заявл. 17.02.2020; опубл. 29.06.2020, Бюл. №19. 6 с.
20. Мониторинг выхода биогаза с тела полигона ТКО / П.А. Трубаев, А.С. Клепиков, О.В. Веревкин, Б.М. Гришко, Д.Ю. Суслов, Р.С. Рамазанов // Энергетические системы: сб. тр. II Межд. науч.-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. С. 436-443.

References

1. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Arkhitektura gradoustrojstva [Urban planning architecture]. *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arkhitektury = Russian Journal of Building Construction and Architecture*, 2020, no.4, pp. 121-129 (In Russ.).
2. Zubakov V. A. Global'nyj pik ehndoehkologicheskogo otravleniya – biologicheskij predel sushhestvovaniya chelovechestva [The global peak of endoecological poisoning is the biological limit of human existence]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*, 2003, no. 5, pp. 103-104 (In Russ.).
3. Mirnyj A.N. *Sanitarnaya ochistka i uborka naseleennykh mest* [Sanitary cleaning and cleaning of populated areas]. Moscow, Strojizdat Publ.,1990. 413 p. (In Russ.).
4. Cho H.S., Kim J.Y., Moon H.S. Effect of quantity and composition of waste on the prediction of annual methane potential from landfills. *Elsevier Science Publishing Company, Inc.: Bioresource technology*, 2012, vol. 109, pp. 86-92.
5. Sliusar N., Pukhnyuk A., Korotaev V., Matveev Y. Management of municipal solid waste methane potential by using preliminary treatment. *15th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2015*. Albena, Bulgaria, 2015, pp. 483-490.

6. Shilkina S.V. Mirovye tendentsii upravleniya otkhodami i analiz situatsii v Rossii [World trends in waste management and analysis of the situation in Russia]. *Otkhody i resursy = Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 2020, no. 1. (In Russ.). Available at: <https://resources.today/PDF/05ECOR120.pdf> (accessed 23.02.2021).

7. Estimated annual waste per capita of the leading waste producing countries worldwide as of 2019. *Energy & Environment, Waste Management*. 2021. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1168066/largest-waste-producing-countries-worldwide-per-capita/>. (accessed 23.02.2021)

8. Arsent'ev V.A., Mikhajlova N.V. Pererabotka otkhodov: ispol'zovanie resursnogo potentsiala [Waste recycling: using resource potential]. *Tverdye bytovye otkhody = Municipal Solid Waste*, 2007, no. 8, pp. 60-63 (In Russ.).

9. Utilizatsiya musora v Rossii. Kak reformiruyut otrasl' [Waste disposal in Russia. How the industry is being reformed]. *Informatsionnoe agentstvo TASS [TASS News Agency]* 2019. Available at: [https://tass.ru/info/6000776#:~:text=Ob'em%20tverdykh%20kommunal'nykh%20otkhodov%20\(TKO,%22Tverdye%20bytovye%20otkhody%22\)](https://tass.ru/info/6000776#:~:text=Ob'em%20tverdykh%20kommunal'nykh%20otkhodov%20(TKO,%22Tverdye%20bytovye%20otkhody%22)). (accessed 23.02.2021)

10. Mirovoj rynek musora: zakhoroneniye otkhodov — udel otstayushhikh stran [The global garbage market: landfill is the lot of lagging countries]. *Internet-gazeta «Real'noe vremya» [Internet newspaper "Realnoe Vremya"]*. 2020. Available at: <https://realnoevremya.ru/articles/166395-mirovoy-musorny-rynok-poka-v-peredovyh-stranah-szhigayut-i-sortiruyut-v-rossii-plodyat-poligony> (accessed 23.02.2021).

11. Sistemy upravleniya bytovymi otkhodami raznykh stran: retsepty dlya Rossii [Household waste management systems in different countries: recipes for Russia]. *Institut ekonomiki rosta im. Stolypina P.A. [Institute for the Economics of Growth named after Stolypina P.A.]*. 2019. Available at: <https://stolypin.institute/analytics/sistemy-upravleniya-bytovymi-otkhodami-raznyh-stran-retsepty-dlya-rossii/> (accessed 23.02.2021).

12. Evropa iz 249 mln tonn otkhodov 47 % szhigaet i 24 % otpravlyayet na svalku [Europe burns 47% of 249 million tons of waste and sends 24% to landfills]. *Tverdye bytovye otkhody. Novosti Otrastli [Municipal Solid Waste]*. 2019. Available at: <https://news.solidwaste.ru/2019/02/evropa-pererabatyvaet-szhigaet-i-opravlyayet-na-svalku/> (accessed 23.02.2021).

13. Khoroshavin L.B., Belyakov V.A., Svalov E. A. *Osnovnye tekhnologii pererabotki promyshlennykh i tverdykh kommunal'nykh otkhodov [Basic technologies for processing industrial and solid municipal waste]*. Ekaterinburg, 2016. 220 p. (In Russ.).

14. Pentyurin E.A., Smolenskaya L.M., Starostina I.V., Rybina S.Yu. Otsenka kachestva tekhnogenno-narushennykh zemel' territorii poligona TBO g. Belgoroda [Assessment of the quality of technogenically disturbed lands in the territory of the solid waste landfill in Belgorod]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2012, no 4, pp. 173-176 (In Russ.).

15. Tchobanoglous G., Kreith F. Handbook of solid waste management. (2nd ed.), McGraw-Hill, New York, United States, 2002. 834 p.
16. Karapidakis E.S., Tsavé A.A., Soupios P.M., Katsigiannis Y.A. Energy efficiency and environmental impact of biogas utilization in landfills. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2010, vol. 7, no 3, pp. 599-608.
17. Park J.W., Shin H.C. Surface emission of landfill gas from solid waste landfill. *Elsevier Science Publishing Company, Inc.: Atmospheric environment*, 2001, vol. 35, no 20, pp. 3445-3451.
18. Carbon Dioxide, Methane, Nitrous Oxide, and the Greenhouse Effect. *Conservation in a Changing Climate: 2020*. Available at: <https://climatechange.lta.org/get-started/learn/co2-methane-greenhouse-effect/> (accessed 23.02.2021).
19. Ramazanov R. S., Suslov D. Yu., Kushhev L. A., Temnikov D. O., Lobanov I. V. *Gazovaya gorelka* [Gas-burner]. Patent RF, no. 198280, 2020.
20. Trubaev P.A., Klepikov A.S., Verevkin O.V., Grishko B.M., Suslov D.Yu., Ramazanov R.S. Monitoring vykhoda biogaza s tela poligona TKO [Monitoring of biogas output from the solid waste landfill]. *Ehnergeticheskie sistemy. Sb. tr. II Mezhd. nauchno-tekhn. konf.* Belgorod, BGTU Publ., 2017, pp. 436-443 (In Russ.).

Информация об авторе / Information about the Author

Рамазанов Рафшан Салманович,
ассистент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция», Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Российская Федерация,
e-mail: boss.rafshan@mail.ru

Rafshan S. Ramazanov, Assistant, Heat, Gas
Supply and Ventilation Department, Belgorod
State Technological University named
after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation,
e-mail: boss.rafshan@mail.ru