

Список использованных источников

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.10.2021, № 3052–р.
2. Biagini E., Varontini F., Tognotti L. Development of a bi-equilibrium model for biomass gasification in a downdraft bed reactor // Bioresource Technology. 2016. – P. 10. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.11.057 (дата обращения: 18.04.2024).
3. Тареев В.М. Справочник по тепловому расчету двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1961. – 135 с.
4. Ahrenfeldt J., Jensen T.K., Henriksen U., Gobel B. CO and PAH Emissions from Engines Operating on Biomass Producer Gas // Department of Mechanical Engineering. Technical University of Denmark. MEK-ET-2003-03. 2003. P. 5.

УДК 62–932.2

К. В. Галанов, Г. Е. Масленников, А. Ф. Рыжков

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТВЕРДЫХ ОСТАТКОВ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

Аннотация. В работе проведен термогравиметрический и масс-спектрометрический анализ твердых остатков, полученных при газификации древесных опилок, которые были собраны с ватных фильтров. Остатки представляют собой смесь сажи и смол. Исследование выполнено на комплексе, основным элементом которого является прибор NETZSCH STA 449F3 с ТГ держателем. В ходе анализа образец подвергается конверсии в воздушной среде при скорости нагрева 15 К/мин на протяжении всего эксперимента. В результате определен следующий состав: Содержание смол в образце по массе составляет ~30 %, инерта – ~1 % и горючей твердой части – ~69 %. Средний элементный состав смол можно записать формулой $C_1H_{1,26}$.

Ключевые слова: термогравиметрический анализ, ТГА, древесные опилки, масс-спектрометрия, газификация.

Abstract. The work carried out thermogravimetric and mass spectrometric analysis of solid residues obtained during the gasification of sawdust, which were collected from cotton filters. The residue is a mixture of soot and resins. The study was carried out on a complex, the main element of which is a NETZSCH STA 449F3 device with a TG holder. During the analysis, the sample is subjected to conversion in air at a heating rate of 15 K/min throughout the experiment. As a result, the following composition was determined: The content of resins in the sample by weight is ~30 %, inert – ~1 % and flammable solids – ~69 %. The average elemental composition of resins can be written as $C_1H_{1,26}$.

Key words: thermogravimetric analysis, TGA, sawdust, mass spectrometry, gasification.

Целью работы является определение состава твердых остатков, полученных при газификации древесных опилок. Для этого применяется методика синхронного термогравиметрического и масс-спектрометрического анализа.

Исследование выполнено на комплексе, основным элементом которого является прибор NETZSCH STA 449F3 с ТГ держателем. По ходу эксперимента происходит конверсия образца, фиксируются убыль массы навески, температура образца и состав газообразных продуктов (квадрупольным масс-спектрометром QMS 403C Aëolos). Методика анализа состава газообразных продуктов конверсии по данным масс-спектрометра взята из [1].

Анализ проведен над твердыми остатками газификации древесных опилок, которые были собраны с ватных фильтров. Они представляют собой смесь сажи и смол. В ходе анализа образец подвергается конверсии в воздушной среде при скорости нагрева 15 К/мин на протяжении всего эксперимента. На рисунке 1 показана убыль массы образца и его температура в ходе эксперимента, на рисунке 2 показан объемный состав газообразных продуктов.

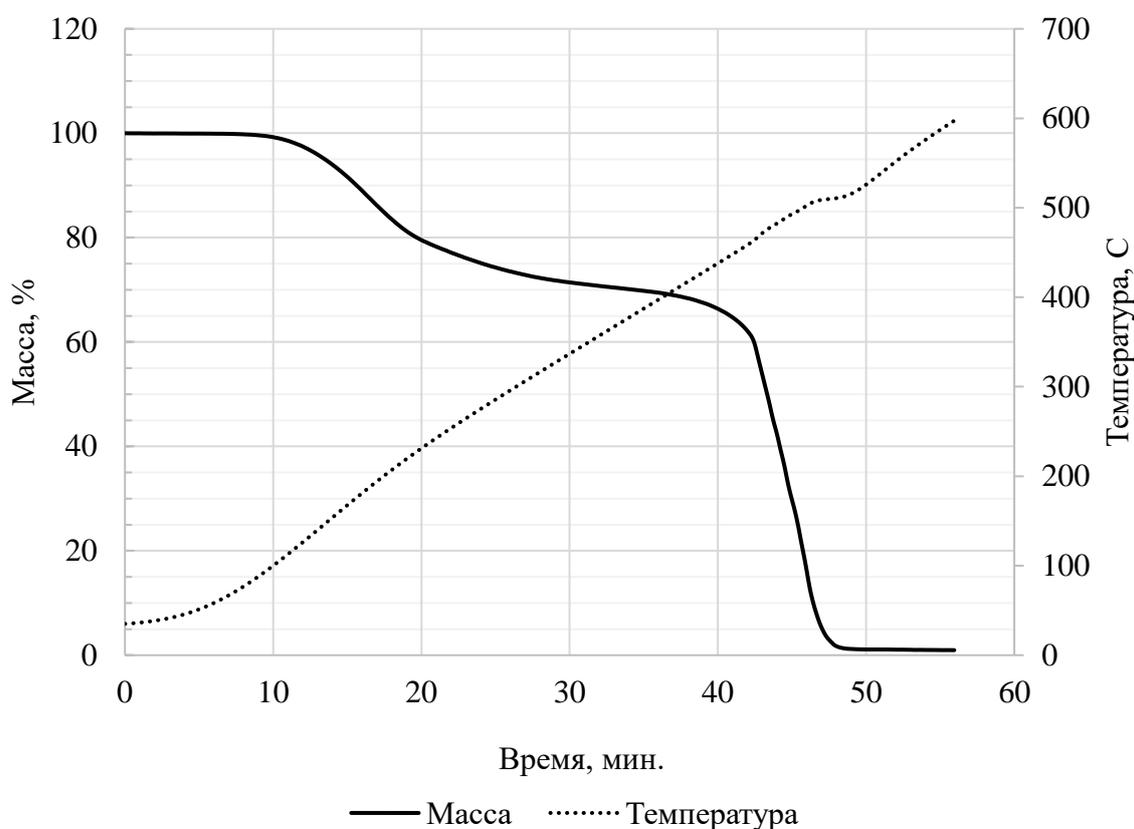


Рис. 1. Изменение массы и температуры образца

По рисунку 1 видно, что в диапазоне температур ~ 90–300 °C проходит частичная убыль массы, с медленным ростом концентрации CO_2 и H_2O в продуктах. Эту убыль массы можно объяснить испарением смол, которые конденсируются внизу печи и еще не вступают в активное реагирование с кислородом воздуха. До температуры ~400 °C темп падения массы замедляется, однако рост концентрации CO_2 и H_2O продолжается. После достижения температуры ~450 °C происходит горение твердой части. Таким образом содержание смол в образце по массе составляет ~30 %, инерта – ~1 % и горючей твердой части – ~69 %.

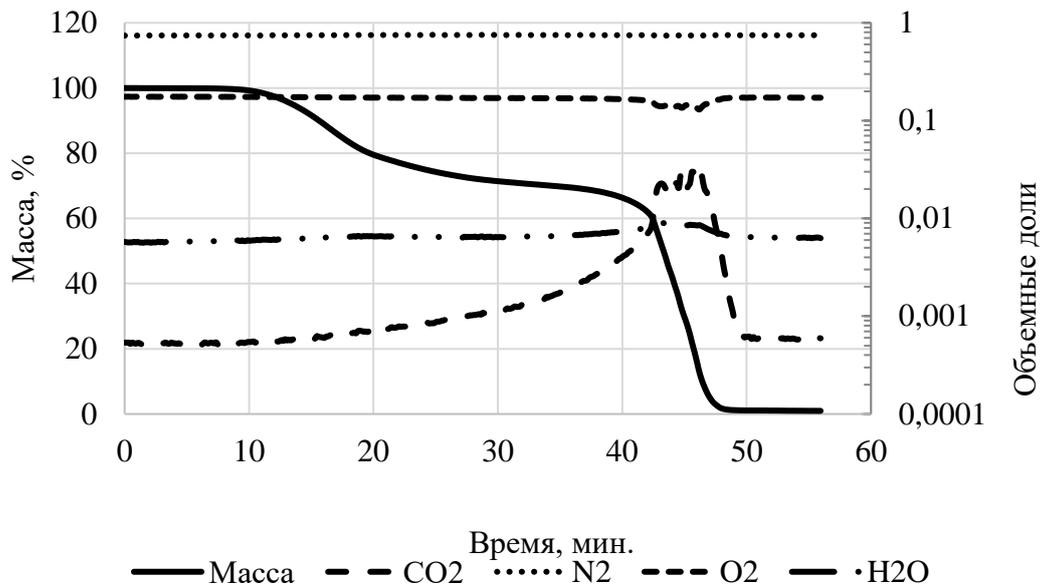


Рис. 2. Объемный состав газообразных продуктов

Поскольку лишь часть продуктов горения смол фиксируется до момента активной конверсии твердой части, то такой метод анализа может дать только приблизительный элементный состав смол в виде соотношения атомов водорода и углерода Н/С. Для этого количество i -го газообразного продукта, зафиксированного масс-спектрометром за промежуток времени τ_1 – τ_2 , определяется по методу трапеций:

$$Q_i = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_i dt \approx \sum_j \frac{(G_{i,j} + G_{i,j+1})}{2} \Delta\tau, \quad (1)$$

где Q_i – количество i -го газа $G_{i,j}$ – расход i -го газа в момент времени j ; $\Delta\tau$ – временной шаг.

Если считать общий расход продуктов единичным, что допустимо в данном случае, тогда расход газа G_i в формуле 1 можно заменить на соответствующие объемные концентрации X_i .

Далее количество газов пересчитывается на количество элементов и окончательно находится соотношение водорода и углерода в смолах:

$$H/C = \frac{2Q_{H_2O}}{Q_{CO_2}}. \quad (2)$$

За промежуток времени 13–40 мин, соотношение Н/С в продуктах сгорания составило 1,26. Обычно главными компонентами смол являются бензол C_6H_6 , толуол C_7H_8 , нафталин $C_{10}H_8$, для которых отношение Н/С лежит в диапазоне 0,8–1,14 [2].

Таким образом, мы оценили состав остатка газификации древесных опилок на основе термогравиметрического и масс-спектрометрического анализов. Содержание смол в образце по массе составляет ~30 %, инерта – ~1 % и горючей твердой части – ~69 %. Средний элементный состав смол можно записать формулой $C_{10}H_{12,6}$. Полученные данные можно использовать при сведении материальных балансов работы газификатора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Список использованных источников

1. Никитин А.Д. Влияние водяного пара на физико-химические процессы в парогазовой установке с внутрицикловой газификацией твердого топлива / Никитин А.Д. дис. ... канд. техн. наук: УрФУ, 2021. С. 183–186.
2. Valderrama Rios M.L., González A.M., Lora E.E.S., Almazán del Olmo O.A. Reduction of tar generated during biomass gasification: A review // Biomass and Bioenergy. 2018. Vol. 108. Pp. 345–370.

УДК 621.311.22

Ю. А. Дерябина, Н. А. Абаимов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ВАЛИДАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПОТОЧНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ БИОМАССЫ В ЦИКЛОННОЙ УСТАНОВКЕ

Аннотация. В данной работе представлены результаты валидации численной модели поточной газификации биомассы в циклонной установке. CFD-модель поточной газификации биомассы разработана в открытой интегрируемой платформе OpenFoam 2312. Для расчетов использовался модернизированный решатель coalChemistryFoam, в который были добавлены реакции газификации (Будуара и паровой газификации). Проведенная валидация разрабатываемой CFD-модели с использованием литературных экспериментальных и расчетных данных свидетельствует об удовлетворительной применимости модели для расчёта и анализа процесса поточной газификации биомассы в установках со сложной гидродинамической структурой.

Ключевые слова: биомасса, газификатор, поточная газификация, циклонный газификатор, вычислительная гидродинамика.

Abstract. This paper presents the results of the validation of a numerical model of current biomass gasification in a cyclone installation. The CFD model of current biomass gasification was developed in the OpenFoam 2312 open integrable platform. The modernized coalChemistryFoam solver was used for calculations, to which gasification reactions (Boudoir and steam gasification) were added. Validation of the developed CFD model with the use of literature experimental and CFD-data indicates the satisfactory applicability of the model for the calculation and analysis of the current process of biomass gasification in installations with a complex hydrodynamic structure.

Key words: biomass, gasification, entrained-flow gasification, cyclone gasifier, computational fluid dynamics.