

УДК 620.952

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ**

Зябрев А.С., аспирант гр. ТПа-231, I курс

Вилисов Н.Д., студент гр. ТЭМ-221, II курс

Научный руководитель: Ушаков К.Ю., к.т.н., старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории катализа и преобразования углеродсодержащих материалов с получением полезных продуктов, доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Согласно «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» [1] разработана и утверждена комплексная государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» [2]. Программой предусмотрены меры по развитию альтернативных и возобновляемых источников энергии, перевод энергетических установок на экономичные виды топлива и другие меры, способствующие снижению углеродного следа. Биомасса является углеродно-нейтральным источником энергии, что означает, что при ее сжигании выделяется такое же количество углекислого газа, сколько было поглощено в процессе роста и разложения. Наиболее распространенным источником биомассы являются отходы лесохозяйственной деятельности, такие как стружка, щепа, опилки и др.

Перспективным способом для получения альтернативных источников энергии из биомассы являются процессы пиролиза и газификации. Пиролиз представляет собой процесс термохимического разложения без доступа кислорода, в результате которого получают продукты в жидкой, газообразной и твердой фазе. В зависимости от параметров ведения процесса можно выделить следующую классификацию: медленный пиролиз (скорость нагрева –  $<<1$  °C/с, температура –  $400\div600$  °C), быстрый пиролиз (скорость нагрева –  $10\div200$  °C/с, температура –  $500\text{--}700$  °C) и флэш-пиролиз (скорость нагрева –  $1000$  °C/с, температура –  $650\div1000$  °C) [3-4]. В зависимости от выбранного режима отличается количество и состава получаемых продуктов

Медленный пиролиз характеризуется более высоким выходом твердых и газообразных продуктов (40 и 35 мас. % соответственно), при быстром пиролизе более 75 мас. % составляет выход жидких продуктов [5-7]. Флэш-пиролиз, чем-то похож на быстрый, но подразумевает более высокую температуру и как правило проводится в реакторах с кипящим слоем, для интенсификации процессов теплообмена, но получаемый таким образом твердый остаток имеет более высокую пористость. Также стоит отметить, для прове-

дения быстрого и флэш-пиролиза требуется исходное сырьё измельчить до размера частиц  $1 \div 0,2$  мм, что необходимо для быстрого нагрева всей массы.

Получаемый в результате пиролиза газ преимущественно состоит из горючих компонентов CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub> и имеет теплотворную способность  $13 \div 15$  МДж/м<sup>3</sup>. В работах [8-9] указано, что количество получаемого газа достаточно для поддержания процессов медленного пиролиза, однако снижается гибкость в регулировании температуры процесса. Также данный газ может использоваться как источник энергии в других энергетических установках (печи, котлы, газовые турбины).

Жидкая фаза представляет из себя смесь из воды, альдегидов, кетонов, моносахаридов, фенолов и других органических соединений [10]. Теплотворная способность такой жидкости  $\sim 20$  МДж/кг и поэтому она может применяться как источник энергии в котлах и печах, или как сырьё для получения отдельных жидких продуктов.

Твердая фаза процесса пиролиза представляет полукокс, который может применяться как сорбент, топливо, удобрение, но при этом требует дополнительной обработки [11].

Для исследования процесса пиролиза древесной биомассы была разработана экспериментальная установка представленная на рисунке 1.

Основным элементом экспериментальной установки является реактор проточного типа (1) объёмом 3,6 литра, выполненный из нержавеющей стали, с максимальной загрузкой до 550 грамм. Данный реактор предназначен для медленного пиролиза в неподвижном слое. Нагрев происходит с помощью электрического нагревательного элемента (2), расположенного на внешней стенке реактора, а контроль нагрева осуществляется с помощью термопреобразователей (4) и терморегулятора (5).

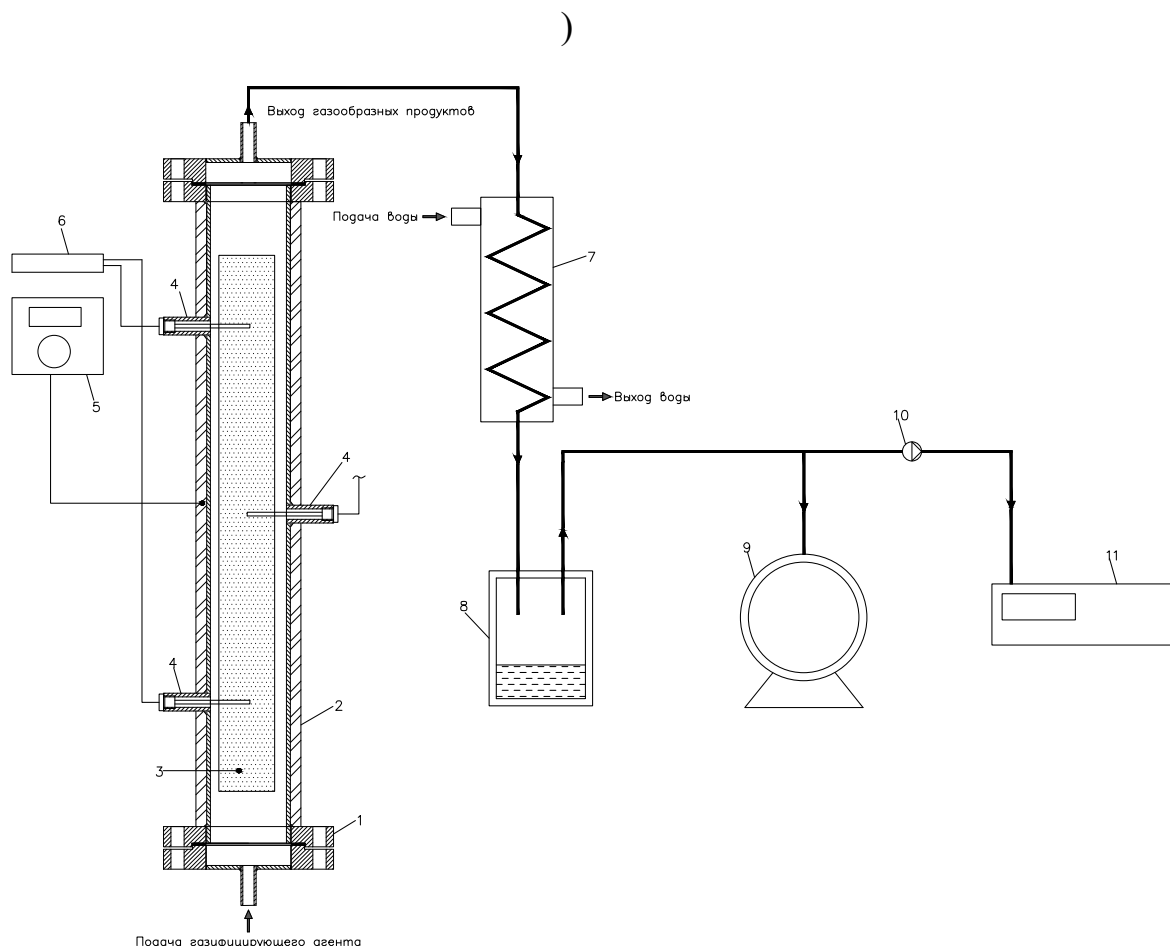


Рисунок 1. Экспериментальная установка пиролиза и газификации: 1 – реактор проточного типа (пиролизер-газификатор); 2 – нагреватель; 3 – образец; 4 – термопреобразователи; 5 – терморегулятор; 6 – регистратор данных; 7 – конденсатор; 8 – сосуд для сбора жидкости; 9 – барабанный счетчик; 10 – перистальтический насос; 11 – поточный газоанализатор.

В рамках представленной установки с целью возможности варьирования скорости нагрева выполнена возможность подачи предварительно нагретого газообразного инертного сырья (на схеме отмечено как «подача газифицирующего агента»). Для охлаждения газообразных продуктов пиролиза и конденсации парообразных предусмотрено наличие холодильника конденсатора (7), и отделение жидких продуктов от газообразных в сосуде (8). Дополнительно для определения материального баланса процесса пиролиза предусмотрено, помимо контроля массы исходного и выгружаемого сырья, контроль количества выхода (9) и состава (11) газообразных продуктов.

### Заключение

В работе обоснована актуальность получения альтернативных источников энергии на основе процессов термохимической переработки биомассы. Приведена характеристика и классификация процессов пиролиза, на основании которой была предложена схема переработки древесной биомассы с получением твердых, жидких и газообразных продуктов. Предложенная схема включает в себе последовательное проведение процесса медленного пиролиза с возможностью последующей газификации. Для предварительной оценки

была разработана экспериментальная установка с реактором проточного типа, а также сформирована методика проведения эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № 075-03-2024-082/2 от 15.02.2024 г. (FZES-2024-0001).

### Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ "О Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года" от 29.10.2021 № 3052-р // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2021 г. - с изм. и допол. в ред. от 01.11.2021.
2. Постановление Правительства РФ "Об утверждении комплексной государственной программы Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности"" от 09.11.2023 № 1473 // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2023 г. - с изм. и допол. в ред. от 11.09.2023.
3. Thermochemical processing of woody biomass: a review focused on energy-driven applications and catalytic upgrading / J.C. Solarte-Toro, J.A. González-Aguirre, J.A. Poveda Giraldo, C.A. Cardona Alzate // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – V. 136. – P. 110376.1–16.
4. Barmore T. Biomass pyrolysis: past, present, and future // Environment, Development and Sustainability. – 2020. – V. 22. – No 1. – P. 17–32.
5. Pre-treatment of furniture waste for smokeless charcoal production / P. Kazimi-erski, P. Hercel, K. Januszewicz, D. Kardaś // Materials. – 2020. – V. 13. – No 14. – P. 1–11.
6. Investigation of the influence of ultrasonic treatment on the sorption properties of the pyrolysis product of wood waste / I.A.Nasyrov, G.V. Mavrin, D.D. Fazullin, I.G. Shaikhiev // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – V. 1347. – No 1. – P. 012080.1–5.
7. Cost-effective sulfurized sorbents derived from one-step pyrolysis of wood and scrap tire for elemental mercury removal from flue gas / Y. Xu, G. Luo, Q. Zhang, Z. Li, S. Zhang, W. Cui // Fuel. – 2021. – V. 285. – P. 119221.1–8.
8. Putun A.E., Apaydin E. and Putun E. Rice straw as a bio-oil source via pyrolysis and steam pyrolysis// J. Eng. 2004. V. 29. P. 2171-2180.
9. Park H.J., Dong J-I., Jeon J-K., Park,Y-K., Yoo K-S., Kim S-S., Kim J. and Kim S. Effect of the operating parameters on the production of bio-oil in the fast pyrolysis of Japanese larch// J. Chem. Eng. 2008. V. 143. P. 124-132.
10. Башкиров В.Н., Бикбулатова Г.М., Гатауллина А.А. Перспек- тивы промышленного использования жидких продуктов быстрого пиролиза растительной биомассы // Евразийское Научное Объединение. – 2018. – Т. 46. – No 12-3. – С. 207–210.
11. Sharma R. K., Wooten J. B., Baliga V. L., Lin, X., Chan, W. G. and Hajaligol M. R., Characterization of chars from pyrolysis of lignin// J. Fuel. 2004. V. 83. P. 1469-1482.