

УДК 620.9

Н.Д. ВИЛИСОВ, аспирант гр. ТТа-241 (КузГТУ)

А.С. ЗЯБРЕВ, аспирант гр. ТПа-231 (КузГТУ)

Е.А. ЕРЕМЕЕВ, студент гр. ТЭб-231 (КузГТУ)

Научный руководитель К.Ю. УШАКОВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)

г. Кемерово

## РЕАКТОР ДЛЯ ПИРОЛИЗА БИОМАССЫ

Вопросы переработки древесных отходов с каждым годом приобретают все большую актуальность. В России ежегодно образуется около 200 миллиардов тонн древесных отходов [1]. При этом перерабатывается и используется в промышленности и сельском хозяйстве лишь небольшая часть таких отходов. Оставшаяся часть древесных отходов зачастую просто складируется и создает опасность пожара. Опилки можно рассматривать как источник полезных для промышленности компонентов, а также дешевый и доступный источник энергии [2]. Таким образом, разработка технологий переработки древесных отходов в топливо и вещества с повышенной добавленной стоимостью являются актуальной научно-технической задачей [3]. На сегодняшний день термохимические методы являются наиболее эффективными для переработки таких отходов [4]. Одним из таких методов является пиролиз. Он позволяет получать из сырья газообразные, жидкие и твердые продукты [5, 6]. Например, в составе пиролизной жидкости содержатся такие важные химические соединения, как сахара и фенолы [7]. Целью работы является разработка реактора для пиролиза древесных опилок.

Разрабатываемый реактор является пиролизером проточного типа с неподвижным слоем горизонтального расположения, схема представлена на рисунке 1.

Корпус реактора изготовлен из нержавеющей стали. Рабочий объём реактора составляет 3,6 литра, а максимальная загрузка 550 грамм (по насыпной плотности древесины). Тело реактора составляет нержавеющая труба (1) диаметром 89 мм, толщиной стенки 1 мм и длиной 700 мм, изготовленной по ГОСТ 9941-2022. На торцевых сторонах реактора расположено фланцевое соединения с уплотнительной поверхностью типа «выступ-впадина», в котором применяются фланцы (2-3) с номинальным диаметром 80 мм и давлением 1,6 кгс/см<sup>2</sup> изготовленные по ГОСТ 33259-15. Уплотнение и герметизация фланцев осуществляется с помощью прокладки (4), изготовленной из паронита марки ПМБ. Для отвода образующихся газообразных продуктов и возможности подвода газифицирующего агента на фланцах выполнен выступ (2), вварена вставка (5) с трубкой диамет-

ром 13 мм и толщиной стенки 3 мм (6). Нагрев производится с помощью спиралевидного нагревателя (7), расположенного между слоями изоляционного материала, состоящего из мертеля и покрытого сверху стеклотканью, на внешней стенке трубы (1), с возможностью нагрева до 800 °C. Контроль температуры внутри реактора производится с помощью трёх термоэлектрических преобразователей (8) с чувствительным элементом из термоэлектродов хромель-алюмель и температурой эксплуатации до 800 °C. Установка преобразователей осуществляется через приварные бобышки (9), расположенные в трёх точках по высоте пиролизёра.

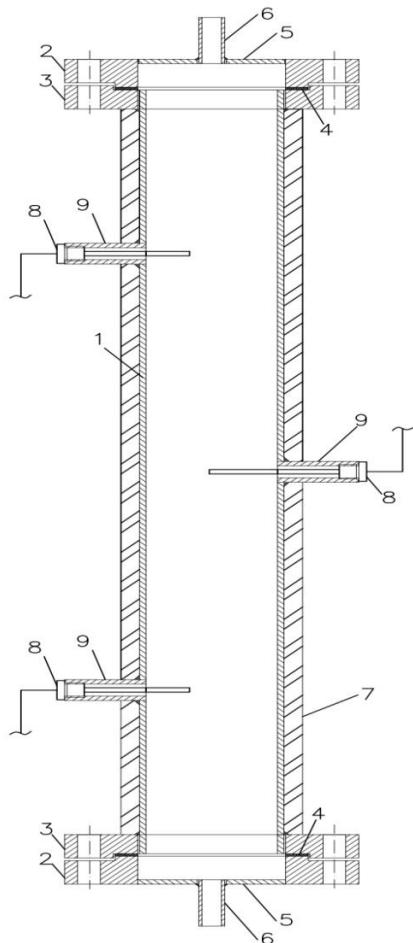


Рис. 1. Пиролизёр проточного типа с неподвижным слоем: 1 – труба из нержавеющей стали; 2 – фланец с «выступом»; 3 – фланец с «впадиной»; 4 – прокладка; 5 – вставка в фланец; 6 – трубка; 7 – нагреватель и изоляционной материал; 8 – термопреобразователь; 9 – бобышка для термопреобразователя

Нагрев реактора будет осуществляться с помощью спиралевидного нагревателя из никромовой проволоки X20H80. Методика подбора, расчета необходимого диаметра и длины проволоки представлена в [8]. Расчет

производился для мощности нагревателя 2 кВт, а также под напряжение сети 220 В (в рамках установки имеется возможность регулирования мощности нагревателя автотрансформатором АОСН-20-220-75). Сила тока при таких параметрах будет равна 9,1 А. В таблице 1 представлены результаты расчетов диаметров и длин проволоки.

Таблица 1

Расчет нагревателя

№	Диаметр, мм	Сечение, $\text{мм}^2$	Длина, м	Допустимая сила тока, А	Цена за 1 м, руб.	Стоимость, руб.
1	0,6	0,283	6,5	4,5	82	533
2	1	0,785	18	10	130	2340
3	2	3,140	70	25	300	21000

Для сравнения были взяты 3 диаметра проволоки. Проволока 0,6 мм оказалась неподходящей для такой мощности реактора по условиям надежности работы нагревателя. Длина проволоки диаметром 2 мм для нагревателя является 70 метров, что при рыночной цене на проволоку делает его неоправданно дорогим. Поэтому по допустимой силе тока и цене в качестве материала для изготовления нагревателя была выбрана проволока 1 мм.

Разработанный в настоящей работе реактор будет использован в экспериментальных исследованиях по определению основных физико-химических аспектов получения жидкого биотоплива при пиролизе биомассы, снижающих сажеобразование при горении смеси моторного топлива и биотоплива, а также прочих работах по пиролизу углеродсодержащих материалов.

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 от 25 января 2018г. № 84-р.
2. Передерий С. // ЛесПромИнформ. 2013. №8. Вып. 98. С.174.
3. Serrano-Ruiz J.C.; Dumesic J.A. // Energy and Environmental Science. 2011. V. 4. P. 83–99.
4. Zhou C.-H., Xia X., Lin C.-X., Tong D.-S., Beltrami J. // Chemical Society Reviews. 2011. V. 40. P. 5588-5617.
5. Zhang J., Choi Y.S., Yoo C.G., Kim T.H., Brown R.C., Shanks B.H. // ACS Sustainable Chemical Engineering. 2015. V. 3. P. 293-302.
6. Butler E., Devlin G., Meier D., McDonnell K. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. V. 15. P. 4171-4186.

7. Бикбулатова Г.М., Валиуллина А.И., Валеева А.Р., Забелкин С.А. Разработка способа выделения фенольной фракции из жидкого продукта быстрого пиролиза древесных опилок // VI Всероссийская научно-техническая конференция «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». 2021. – С. 64-66.

8. Никонов Н. В. Нагреватели. Методика и примеры расчета // ООО «Метотехника». 2012. [http://www.metotech.ru/art\\_nagrev\\_1.htm](https://www.metotech.ru/art_nagrev_1.htm).

**Информация об авторах:**

Вилисов Никита Дмитриевич, аспирант гр. ТТа-241, техник научно-исследовательской лаборатории катализа и преобразования углеродсодержащих материалов с получением полезных продуктов, ассистент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [vilisovnd@kuzstu.ru](mailto:vilisovnd@kuzstu.ru).

Зябрев Александр Сергеевич, аспирант гр. ТПа-231, техник научно-исследовательской лаборатории катализа и преобразования углеродсодержащих материалов с получением полезных продуктов, ассистент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [sany9841@gmail.com](mailto:sany9841@gmail.com).

Еремеев Егор Артемович, студент группы ТЭб-231, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [egrem.eg@mail.ru](mailto:egrem.eg@mail.ru).

Ушаков Константин Юрьевич, к.н., доцент каф. теплоэнергетики, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории катализа и преобразования углеродсодержащих материалов с получением полезных продуктов, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [ushakovkju@kuzstu.ru](mailto:ushakovkju@kuzstu.ru).