

Обзор существующих установок для производства пиролизного топлива

В.Г. Сотников^a, А.Н. Загиров^b, Д.А. Гурьянов^c, К.А. Ланкин^d, А.Р. Хабибуллина^e

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. Карла Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан

^a vcvcvc12345678@gmail.com, ^b aidarzagirov98@mail.ru, ^c vcvcvc1234567@gmail.com,

^d vcvcvc12345@gmail.com, ^e almira-h@rambler.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-6202-5487>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-9804-4236>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-6202-5488>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-6202-5489>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-6202-5489>

Статья поступила 04.09.2023, принята 18.09.2023

В последние годы начала набирать популярность переработка отходов в биотопливо. В качестве основного метода переработки отходов применяется метод термической переработки, основанный на нагревании и последующем термическом разложении на уголь и пиролизные газы, часть которых конденсируется в пиролизное топливо. Ввиду актуальности темы исследования был рассмотрен обзор существующих установок для производства пиролизного топлива на основе термической переработки отходов. Представлены «Способ пиролизной переработки биомассы с получением высококалорийных газообразного и жидкого топлив и углеродных материалов», «Способ и установка для получения пиролизной жидкости» и «Схема мобильной пиролизной машины», описывающие процесс термической переработки отходов с получением жидких продуктов пиролиза. Рассмотрены существующие аппараты сепарации жидкости и газа. На основе рассмотренных аппаратов получения биотоплива предложена схема с описанием принципа действия установки для производства пиролизного топлива.

Ключевые слова: пиролизное топливо; биомасса; газообразные продукты; термическое разложение; сепарация пиролизных газов.

Overview of existing installations for the production of pyrolysis fuel

V.G. Sotnikov^a, A.N. Zagirov^b, D.A. Guryanov^c, K.A. Lankin^d, A.R. Khabibullina^e

Kazan National Research Technological University, st. Karl Marx 68, Kazan, Republic of Tatarstan

^a vcvcvc12345678@gmail.com, ^b aidarzagirov98@mail.ru, ^c vcvcvc1234567@gmail.com,

^d vcvcvc12345@gmail.com, ^e almira-h@rambler.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-6202-5487>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-9804-4236>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-6202-5488>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-6202-5489>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-6202-5489>

Received 04.09.2023, accepted 18.09.2023

In recent years, recycling of waste into biofuels has been gaining popularity. As the main method of waste processing, the thermal processing method is used, based on heating and subsequent thermal decomposition into coal and pyrolysis gases, some of which are condensed into pyrolysis fuel. In view of the relevance of the research topic, a review of existing installations for the production of pyrolysis fuel based on the thermal processing of waste is considered. The article presents the "Method of pyrolysis processing of biomass with the production of high-calorie gaseous and liquid fuels and carbon materials", "Method and installation for obtaining pyrolysis liquid" and "Scheme of a mobile pyrolysis machine" describing the process of thermal processing of waste to obtain liquid pyrolysis products. Existing liquid and gas separation apparatuses are considered. On the basis of the considered devices for obtaining biofuel, a scheme is proposed with a description of the principle of operation of the installation for the production of pyrolysis fuel.

Keywords: pyrolysis fuel, biomass, gaseous products, thermal decomposition, separation of pyrolysis gases.

Введение. В России с каждым годом образуются новые свалки, это связано с тем, что существует нехватка специализированных мест утилизации различных отходов промышленных производств и ТБО. К тому же, самым распространенным методом утилизации отходов является сжигание, но при сжигании отходов образуются вредные газовые испарения, которые нельзя выбрасывать в атмосферу без дополнительной очистки [1]. Промышленные производства строят на определенном

расстоянии от населенных пунктов, но не все из них будут в быстром и легком доступе к утилизирующим предприятиям, к тому же, вывоз отходов может быть им невыгоден. К таким производствам относятся предприятия лесозаготовительного и деревоперерабатывающего комплекса. Поэтому на таких предприятиях набирает популярность развитие технологий, связанных с использованием возобновляемых ресурсов, к которым относятся органические отходы. Использование технологий

по переработке органических отходов является эффективным не только тем, что позволяет превратить предприятие в безотходное производство, но и тем, что из переработанных отходов можно получить полезные компоненты [2]. Одной из развивающихся технологий переработки отходов является способ их термической переработки в пиролизное топливо. Суть метода заключается в нагревании отходов до температуры 500 °С без доступа кислорода, в результате чего происходит термическое разложение перерабатываемых продуктов на уголь и пиролизные газы. Из пиролизных газов в дальнейшем при помощи сепарации получают пиролизное топливо и другие полезные компоненты. Получение пиролизного топлива является актуальной темой, потому что оно может стать заменой топливу, получаемому из нефти.

Обзор исследований в области переработки органических отходов в биотопливо. Самым распространенным является метод термической переработки, благодаря которому можно получить такие продукты, как уголь и пиролизная жидкость. Полученную пиролизную жидкость подвергают процессу сепарации, благодаря чему происходит ее разделение на различные компоненты.

А.В. Бессмертных [4] разработал «Способ пиролизной переработки биомассы с получением высококалорийных газообразного и жидкого топлив и углеродных материалов», представленный на рис. 1. Изобретение может быть использовано для получения высококалорийных газообразного и жидкого топлив и углеродных материалов из биомассы.

Способ заключается в следующем. Исходную гранулированную биомассу подают в расходный бункер, откуда она попадает в одну из вертикальных металлических реторт. Располагаясь в реторте, биомасса подвергается процессу пиролиза, тепло для этого процесса берется от продуктов сгорания пиролизного топлива, движущихся снизу-вверх по каналам обогрева реторт. В нижней части реторт расположен выход пиролизного газа, откуда он направляется на конденсацию. В качестве охлаждающего агента при конденсации используются атмосферный воздух или вода, под действием которых пиролизные газы конденсируются в жидкое топливо. Полученное жидкое топливо используют в качестве теплового носителя в топке, кроме этого, половина жидкого топлива отводится сторонним потребителям.

Главными достоинствами данного способа являются высокая калорийность топлива, непрерывность технологического процесса.

Недостатком данной установки является устройство конденсации, представляющее собой поверхностный теплообменник, в котором происходит конденсация. При конденсации образуется тяжелая и вязкая смола, которая засоряет теплообменник. В связи с этим теплообменник

приходится периодически чистить, что требует дополнительное время на обслуживание.

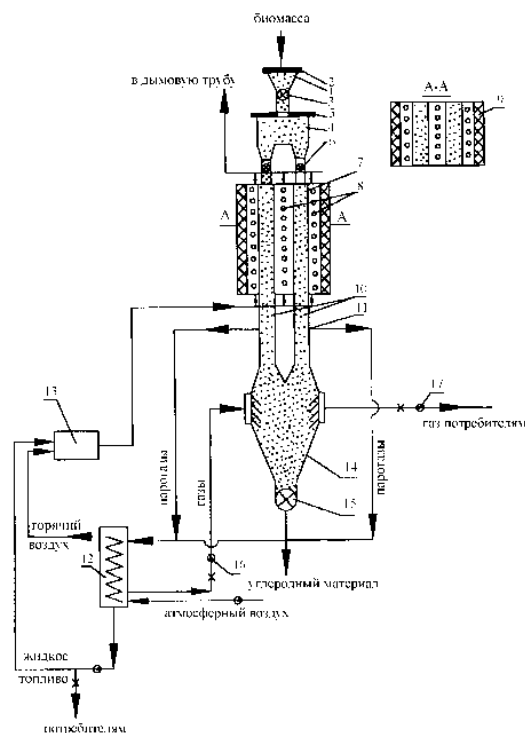


Рис. 1. Способ пиролизной переработки биомассы с получением высококалорийных газообразного и жидкого топлив и углеродных материалов: 1 — расходный бункер; 2 — верхняя газоплотная крышка; 3 — верхний дозатор-разгрузатель; 4 — второй расходный бункер; 5 — верхняя газоплотная крышка; 6 — дозатор-разгрузатель; 7 — реторты; 8 — каналы; 9 — теплоизоляционная оболочка; 10 — движущийся слой горячих частиц; 11 — каналы для вывода пиролизных газов; 12 — устройство конденсации; 13 — топка; 14 — устройства для охлаждения угольного остатка; 15 — дозатор-разгрузатель для угольного остатка; 16, 17 — тягодутьевые устройства

Ретинен Сампо изобрел «Способ и установку для получения пиролизной жидкости». Способ получения (рис. 2) пиролизной жидкости заключается в том, что она получается из газообразных продуктов пиролиза растительного сырья, которые конденсируют в конденсаторе. Циркулирующий газ подают в реактор пиролиза, предварительно подвергнув его очистке, при этом его транспортировка в реактор пиролиза происходит посредством компрессора с жидким кольцом, в котором жидким слоем выступает полученная при пиролизе пиролизная жидкость [5].

Достоинством установки является хорошая система распределения жидкости, главный недостаток в том, что полученная пиролизная жидкость не подвергается очистке от примесей перед выходом из установки.

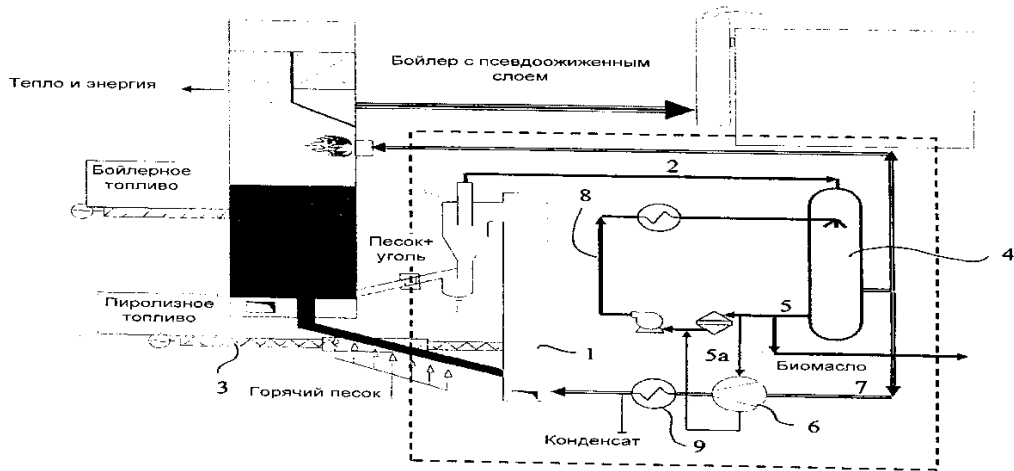


Рис. 2. Установка для получения пиролизной жидкости: 1 — реактор пиролиза; 2 — газообразный продукт; 3 — средства подачи сырьевого материала на биооснове; 4 — конденсатор; 5 — пиролизная жидкость; 6 — компрессор; 7 — циркулирующий газ; 8 — система циркуляции скруббера; 9 — теплообменник

А.Ф. Клейменов разработал установку «Мобильная пиролизная машина» с целью эффективной и безопасной утилизации отходов. Принципиальная схема установки изображена на рис. 3. Принцип мобильной пиролизной машины заключается в следующем: отходы производства попадают в зону сушки, где происходит нагрев и сушка отходов, которые затем поступают в зону пиролиза при помощи шнековых транспортеров. В

зоне пиролиза происходит термическое разложение отходов на твердый карбонизат и пиролизный газ. Твердый карбонизат из зоны пиролиза поступает в предназначенную для него зону охлаждения. Пиролизные газы поступают в зону охлаждения и конденсации, которая представляет собой теплообменник, где они конденсируются в пиролизное топливо [6].

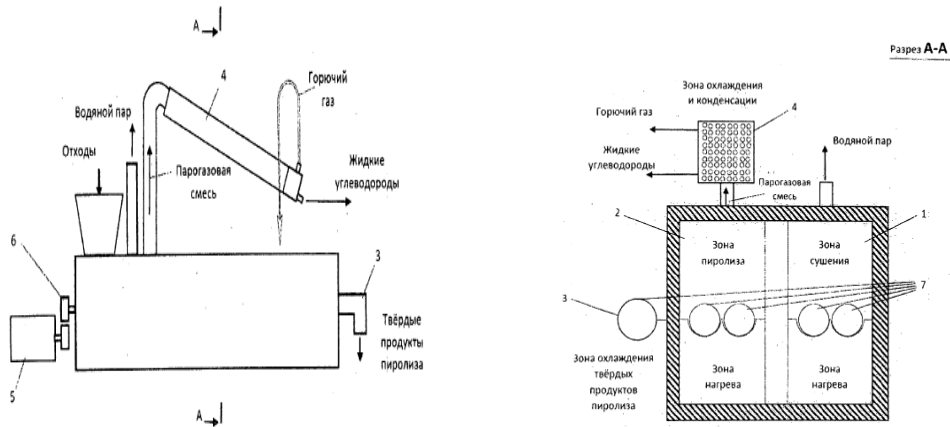


Рис. 3. Схема мобильной пиролизной машины: 1 — сушильный реактор; 2 — пиролизный реактор; 3 — реактор охлаждения твердых продуктов пиролиза; 4 — реактор охлаждения и конденсации парогазовой смеси; 5 — мотор-редуктора; 6 — зубчатая передача; 7 — шнековые транспортеры

Главными преимуществами мобильной пиролизной машины являются ее компактность, все компоненты установки связаны общим корпусом, благодаря чему ее можно быстро переместить в необходимое место.

Недостатком установки является плохо развитая система конденсации, потому что при конденсации образуется смола, и она может засорять устройство конденсации, из-за чего его необходимо периодически очищать.

Существенным недостатком всех описанных выше установок служит их система конденсации, имеющая низкую надежность и ремонтпригодность. Поиск путей решения проблемы ведет к более глубокому изучению свойств пиролизного газа и возможных аппаратов его сепарации.

Обзор существующих аппаратов сепарации жидкости и газов. Пиролизные газы — это многокомпонентные аморфные продукты, состоящие из большого количества различных химических элементов. Большая часть газов при охлаждении конденсируется. Полученный дистиллят состоит из пиролизного лигнина, кислот, фенолов, альдегидов, фуранов, спиртов, углеводов, эфиров, алкенов и кетонов. Пиролиз, в зависимости от режима и сырья, протекает при высоких температурах, 500–1300 °С, как следствие, и пиролизный газ имеет высокую температуру, однако он быстро охлаждается, и смолистые соединения оседают, приводя в негодность системы сепарации.

Ниже приведены некоторые наработки в области сепарации жидкостей и газов, возможные к применению

для сепарации пиролизных газов и разделения фракций дистиллята пиролиза.

В.Г. Цегельский разработал установку «Жидкостно-газового сепаратора» для разделения жидких сред, имеющих разный удельный вес, а также для выделения из этих сред газов.

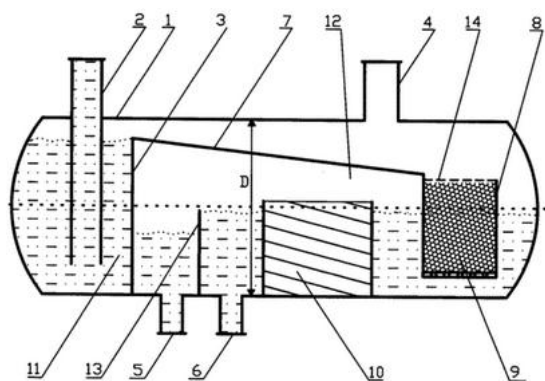


Рис. 4. Схема жидкостно-газового сепаратора: 1 — корпус; 2 — трубопровод; 3 — перегородка; 4 — патрубок вывода газообразной среды; 5 — патрубок вывода легкой жидкой фракции; 6 — патрубок вывода тяжелой жидкой фракции; 7 — сливной лоток; 8 — корзина; 9 — кольца Рашига; 10 — жалюзийный пакет; 11 — входная секция жидкости; 12 — выходная секция жидкости; 13 — переливная перегородка

Принцип действия жидкостно-газового сепаратора (рис. 4) заключается в следующем. В сепаратор через трубопровод поступает газожидкостная смесь, которая стекает по сливному лотку (во время стекания происходит частичное разделение газа и жидкости) в корзину. В корзине, благодаря кольцам Рашига, происходит полное разделение газа и жидкости; после сепарации жидкость поступает в жалюзийный пакет, где происходит гравитационное сепарирование жидкости на легкую и тяжелую фракции, после чего каждая жидкость выводится через предназначенный для нее патрубок [7].

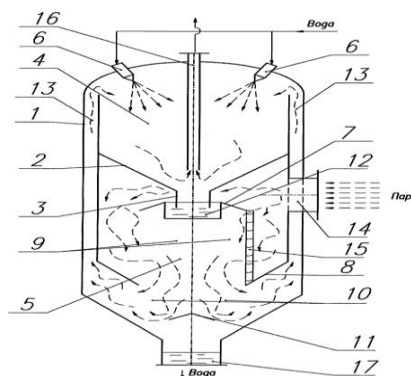


Рис. 5. Схема теплообменного аппарата: 1 — корпус; 2 — поперечная конусная перегородка; 3 — патрубок; 4 — верхняя камера конденсации; 5 — нижняя камера конденсации; 6 — форсунка; 7 — сплошная круглая полка; 8 — сплошная кольцевая полка; 9 — первая ступень конденсации; 10 — вторая ступень конденсации; 11 — отбойный конус; 12 — гидрозатвор; 13 — вертикальный кольцевой (цилиндрический) канал; 14 — средство подачи пара; 15 — отбойная решетка; 16 — канал отвода газов; 17 — патрубок отвода воды из аппарата

Достоинство данного устройство заключается в отделении жидких и газообразных сред друг от друга.

Недостатком данного устройства является то, что корзина с кольцами Рашига забивается смолами, если устройство будет разделять смолосодержащую жидкость.

Л.И. Трофимов и др. представили вариант схемы «Тепломассообменного аппарата» (рис. 5) для расширения арсенала существующих теплообменников.

Принцип действия теплообменного аппарата заключается в следующем: вода поступает через патрубок в форсунки, где дисперсируется на множество капель, после чего возникает ее контакт с паром, выходящим из кольцевого патрубка, из-за чего пар интенсивно конденсируется и стекает по поперечной конусной перегородке в гидрозатвор. Из гидрозатвора конденсат попадает на сплошную круглую полку, откуда стекает тонкой водяной завесой. Поступающий из средства подачи пар разрывает водяную завесу, из-за чего она формирует турбулизованную завесу и охлаждает пар, проходя две ступени конденсации, после чего дистиллят попадает на дно конденсатора и выводится из патрубка [8].

Достоинством данной установки является обеспечение более действенного взаимодействия охлаждающей жидкости и газообразной фазы.

Недостатком установки являются сложности очистки при конденсации пиролизных газов, вместе с которыми в установку могут попадать тяжелые смоляные соединения, и она может засоряться.

Главным недостатком упомянутых выше установок является низкая эффективность их использования при термической переработке органических отходов из-за наличия в них смолистых соединений, которые загрязняют фильтрующие компоненты, в связи с чем требуется их замена или очистка.

Исследование различных способов получения пиролизного топлива и устройств для его фильтрации способствовало разработке установки для получения пиролизного топлива [9]. Данная установка относится к области низкотемпературного быстрого пиролиза [10].

Сущность установки поясняется рис. 6, где изображена ее принципиальная схема.

Принцип действия установки заключается в следующем: исходное дисперсное сырье (ИДС), предварительно измельченное до размера 5–10 мм, поступает в накопительный бункер 1. Из накопительного бункера ИДС поступает в сушильную камеру шахтного типа 3, где происходит конвективная сушка топочными газами [11; 12]. Высушенное ИДС поступает в пиролизный аппарат 6. Внутри пиролизного аппарата под воздействием температуры 500 °С происходит быстрый абляционный пиролиз, и ИДС распадается на твердые и газообразные продукты пиролиза (пиролизный газ). Горячий уголь подается в камеру охлаждения 10 и охлаждается орошением сепарированной водой. Пиролизные газы сразу поступают в конденсатор первой ступени 14 [13; 14], где под действием хладагента, подаваемого из коллектора, сепарируются на первичный конденсат и не сконденсировавшиеся газы. Первичный конденсат отводится в конденсатор второй ступени 17, не сконденсировавшиеся газы отводятся че-

рез всасывающую линию в конденсатор второй ступени эжекцией переохлажденной водой [15]. Не сконденсировавшиеся газы отводятся в камеру сгорания 21. Топочные газы отводят в сушильный аппарат в качестве теплоносителя. Из конденсатора второй ступени вторичный конденсат отводится в центробежный сепаратор 23. В нем происходит сепарирование

вторичного конденсата на пиролизное топливо и воду. Пиролизное топливо отводится насосом в блок очистки 26, где происходит удаление загрязняющих веществ из пиролизного топлива. В блоке очистки происходит выделение углеводородной смеси, содержащей бензиновую и дизельную фракции.

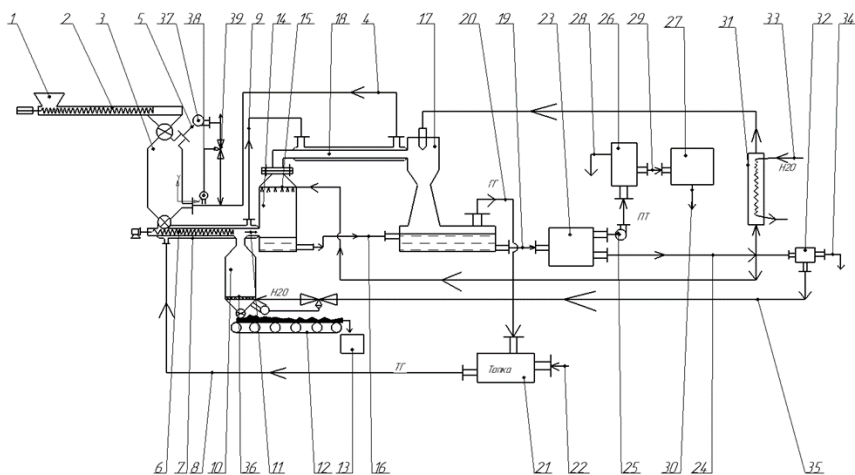


Рис. 6. Схема установки для производства пиролизного топлива

Данная установка позволяет получать не только пиролизное топливо, но и карбонизат для использования в удаленных районах лесного и сельского хозяйства, которые имеют ограниченный доступ к нефтяным ресурсам и продуктам их переработки. Установка надежна в эксплуатации, так как конденсация пиролизных газов осуществляется не пиролизным топливом, а эжекцией сепарированной воды, выделенной центробежным аппаратом [23; 24].

Заключение. Развитие технологий связанных с переработкой отходов растительного сырья в биотопливо, является актуальной темой, так как может служить за-

меной классическому топливу из нефти. Благодаря термической переработке растительных отходов предприятия деревообрабатывающего комплекса могут не только безопасно утилизировать отходы, но и получать дополнительную прибыль, что, в свою очередь, положительно скажется на развитии предприятия в целом.

В настоящее время разработано множество аппаратов для получения биотоплива. Аналитический обзор наиболее перспективных решений показал, что они имеют ряд недостатков. Приведена установка для получения пиролизного топлива, которая решает проблемы представленных в обзоре аппаратов.

Литература

1. Сафин Р.Г., Сотников В.Г. Пирогенетическая переработка растительных отходов в активированный уголь: моногр. Казань: Изд-во КНИТУ, 2022. 108 с.
2. Сафин Р.Г., Родионов А.С., Сотников В.Г. Пирогенетическая переработка органических отходов: моногр. Казань: Изд-во «Отечество», 2022. 104 с.
3. Загиров А.Н., Сотников В.Г., Сафин Р.Г. Переработка органических отходов в пиролизное топливо: моногр. Казань: Изд-во «Отечество», 2022. 92 с.
4. Способ пиролизной переработки биомассы с получением высококалорийных газообразного и жидкого топлив и углеродных материалов: пат. № 2380395 РФ; заявл. 2008131755/15, 01.08.2008; опубл. 27.01.2010.
5. Способ и установку для получения пиролизной жидкости: пат. № 2528341 РФ; заявл. 2013109202/04, 22.02.2013; опубл. 10.09.2014.
6. Мобильная пиролизная машина: пат. WO 2016/153382 A1; заявл. PCT/RU20 15/000572, 09.09.2015; опубл. 29.09.2016.
7. Жидкостно-газовый сепаратор: пат. №2759751 РФ; заявл. 2021111517, 22.04.2021; опубл. 17.11.2021.
8. Теплообменник (варианты): пат. 2263264 РФ; заявл 2003116025/06, 28.05.2003; опубл. 27.10.2005.
9. Грачев А.Н., Макаров А.А., Забелкин С.А., Башкиров В.Н. Термохимическая переработки лигноцеллюлозного сырья

10. Валеева А.Р. Применение жидких продуктов быстрого пиролиза древесных отходов в качестве компонента фенолоформальдегидных смол: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2021. 155 с.
11. Сафин Р.Г., Зиатдинов Р.Р., Сотников В.Г., Рябушкин Д.Г., Ахметова Д.А. Моделирование процесса сушки древесных отходов в установке производства активированного угля // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 4. С. 79-86.
12. Сафин Р.Г., Загиров А.Н., Сотников В.Г. Переработка органических отходов в пиролизное топливо: моногр. Казань: Изд-во «Отечество», 2022. 90 с.
13. Сафин Р.Г., Сотников В.Г. Программа расчета температурных полей сыпучего слоя измельченного твердого сырья в условиях его термического разложения при кондуктивном подводе теплоносителя: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022619183 РФ; № 2022618108; заявл. 05.05.2022; опубл. 19.05.2022.
14. Сафин Р.Г., Степанова Т.О., Зиатдинов Р.Р., Рябушкин Д.Г., Сотников В.Г. Моделирование процесса охлаждения в установке производства активированного угля // Деревообрабатывающая пром-сть. 2021. № 3. С. 78-86.

15. Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Рябушкин Д.Г., Ланкин К.А., Мифтахов Р.А. Конденсатор смешения для разделения пиролизных газов // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2021. № 4. С. 45-55.
16. Di Blasi C. Heat transfer mechanisms and multi-step kinetics in the ablative pyrolysis of cellulose.
17. Di Blasi C. 1993. Analysis of convection and secondary reaction effects within porous solid fuels undergoing pyrolysis. *Combustion Science Technology*, 90: 315-339.
18. Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Загиров А.Н., Родионов А.С., Мифтахов Р.А. Установка для производства пиролизного топлива: пат. на изобретение 2021138320, 22.12.2021; заявл. 22.12.2021; опубл. 18.11.2022.
19. Di Blasi C. Heat, momentum and mass transport through ashinking biomass particle exposed to thermal.
20. Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Зиятдинова Д.Ф. Пирогенетическая переработка органических отходов текстильной промышленности в адсорбенты // *Изв. высш. учеб. заведений. Технология текстильной пром-сти*. 2021. № 5 (395). С. 229-235.
21. Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. (2023). Installation for the Processing of Plant Waste into Activated Carbon. In: Radionov A.A., Gasiyarov V.R. Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-14125-6_79 (дата обращения: 20.09.2023).
22. Сафин Р.Г., Зиятдинов Р.Р., Сотников В.Г., Рябушкин Д.Г. Оптимизация конструкции каркаса установки для производства активированного угля // *Вестн. машиностроения*. 2022. № 6. С. 10-13.
23. Способ переработки твердых бытовых отходов: пат. RU № 2780782, МПК F23G 5/027 (2006.01); заявл. 27.12.2004; опубл. 27.08.2006.
24. Safin R.G., Ziatdinov R.R., Sotnikov V.G. Optimizing the Structure of a Production System for Activated Carbon. *Russ. Engin. Res.* 2022. 42. P. 867-870.
9. Grachev A.N., Makarov A.A., Zabelkin S.A., Bashkirov V.N. Thermochemical processing of lignocellulosic raw materials into biofuels and chemical products // *Herald of Kazan Technical University*. 2013. V. 16. № 21. P. 109-111, 171.
10. Valeeva A.R. The use of liquid products of rapid pyrolysis of wood waste as a component of phenol-formaldehyde resins: dis. ... kand. tekhn. nauk. Kazan', 2021. 155 p.
11. Safin R.G., Ziatdinov R.R., Sotnikov V.G., Ryabushkin D.G., Ahmetova D.A. Simulation of the process of drying wood waste in an activated carbon production unit // *Systems. Methods. Technologies*. 2021. № 4. P. 79-86.
12. Safin R.G., Zagirov A.N., Sotnikov V.G. Processing of organic waste into pyrolysis fuel: monogr. Kazan': Izd-vo «Otechestvo», 2022. 90 p.
13. Safin R.G., Sotnikov V.G. The program for calculating the temperature fields of a loose layer of crushed solid raw materials under the conditions of its thermal decomposition with a conductive supply of a coolant: svidetel'stvo o gos. registracii programmy dlya EVM № 2022619183 RF: № 2022618108; yayvl. 05.05.2022; opubl. 19.05.2022.
14. Safin R.G., Stepanova T.O., Ziatdinov R.R., Ryabushkin D.G., Sotnikov V.G. Modeling of the cooling process in the plant for the production of activated carbon // *Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2021. № 3. P. 78-86.
15. Safin R.G., Sotnikov V.G., Ryabushkin D.G., Lankin K.A., Miftahov R.A. Mixing condenser for separation of pyrolysis gases // *Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2021. № 4. P. 45-55.
16. Di Blasi C. Heat transfer mechanisms and multi-step kinetics in the ablative pyrolysis of cellulose.
17. Di Blasi C. 1993. Analysis of convection and secondary reaction effects within porous solid fuels undergoing pyrolysis. *Combustion Science Technology*, 90: 315-339.
18. Safin R.G., Sotnikov V.G., Zagirov A.N., Rodionov A.S., Miftahov R.A. Installation for the production of pyrolysis fuel: pat. na izobretenie 2021138320, 22.12.2021; yayavl. 22.12.2021; opubl. 18.11.2022.
19. Di Blasi C. Heat, momentum and mass transport through ashinking biomass particle exposed to thermal.
20. Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Pyrogenetic processing of textile industry organic wastes into adsorbents // *Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology*. 2021. № 5 (395). P. 229-235.
21. Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. (2023). Installation for the Processing of Plant Waste into Activated Carbon. In: Radionov A.A., Gasiyarov V.R. Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-14125-6_79 (data obrashcheniya: 20.09.2023).
22. Safin R.G., Ziatdinov R.R., Sotnikov V.G., Ryabushkin D.G. Optimization of the design of the frame of the installation for the production of activated carbon // *Russian Engineering Research*. 2022. № 6. P. 10-13.
23. Method for processing municipal solid waste: pat. RU № 2780782, МПК F23G 5/027 (2006.01); yayavl. 27.12.2004; opubl. 27.08.2006.
24. Safin R.G., Ziatdinov R.R., Sotnikov V.G. Optimizing the Structure of a Production System for Activated Carbon. *Russ. Engin. Res.* 2022. 42. P. 867-870.

Reference

1. Safin R.G., Sotnikov V.G. Pyrogenetic processing of plant waste into activated carbon: monogr. Kazan': Izd-vo KNITU, 2022. 108 p.
2. Safin R.G., Rodionov A.S., Sotnikov V.G. Pyrogenetic processing of organic waste: monogr. Kazan': Izd-vo «Otechestvo», 2022. 104 c.
3. Zagirov A.N., Sotnikov V.G., Safin R.G. Processing of organic waste into pyrolysis fuel: monogr. Kazan': Izd-vo «Otechestvo», 2022. 92 p.
4. The method of pyrolysis processing of biomass to obtain high-calorie gaseous and liquid fuels and carbon materials: pat. № 2380395 RF; yayavl. 2008131755/15, 01.08.2008; opubl. 27.01.2010.
5. Method and installation for obtaining pyrolysis liquid: pat. № 2528341 RF; yayavl. 2013109202/04, 22.02.2013; opubl. 10.09.2014.
6. Mobile pyrolysis machine: pat. WO 2016/153382 A1; yayavl. PCT/RU20 15/000572, 09.09.2015; opubl. 29.09.2016.
7. Liquid-gas separator: pat. №2759751 RF; yayavl. 2021111517, 22.04.2021; opubl. 17.11.2021.
8. Heat and mass transfer apparatus (options): pat. 2263264 RF; yayavl 2003116025/06, 28.05.2003; opubl. 27.10.2005.