

Методика расчёта двухступенчатой системы сепарации установки для производства биотоплива

Виктор Г. Сотников	¹	vcvcvc12345678@gmail.com	 0000-0002-6202-5487
Рушан Г. Сафин	¹	safin@kstu.ru	 0000-0002-6202-5486
Айдар Н. Загиров	¹	aidarzagirov98@mail.ru	 0000-0001-9804-4236
Наиль Ф. Тимербаев	¹	cpekgeu@gmail.com	 0000-0001-9804-4235
Денис А. Гурьянов	¹	vcvcvc12345@gmail.com	 0000-0002-6202-5488
Альмира Р. Хабибуллина	¹	almira-h@rambler.ru	 0000-0002-6202-5489

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия

Аннотация. В настоящее время переработка растительных отходов является перспективным направлением развития в современной энергетике. Существует множество методов переработки отходов, но не все из них являются экономически обоснованными и безвредными для экологии. Одним из самых распространенных методов переработки является быстрый абляционный пиролиз, предназначенный для термической переработки отходов без доступа кислорода. В результате такой переработки образуется углеродистый остаток и пиролизный газ. Количество получаемых пиролизных газов составляет 60 % и более от массы перерабатываемого сырья. Чтобы пиролизные газы стали высококачественным топливом их необходимо подвергнуть процессу сепарации, который протекает в устройствах, называемых – конденсатор паров. При сепарации пиролизных газов лучше не использовать обычные нефтегазовые конденсаторы так как конденсируемые пиролизные газы обладают высокой смолистостью из-за чего происходит более быстрый износ устройства. Для установки по производству пиролизного топлива предлагается двухступенчатая система сепарации, предназначенная для разделения пиролизных газов на фракционные составляющие: пиролизного дистиллята, неконденсирующегося горючего газа и воды. В статье представлена конструкция двухступенчатой системы сепарации. Описан принцип работы двухступенчатой системы сепарации, дана схема её устройства. Представлена методика расчета двухступенчатой системы сепарации, позволяющая определить геометрические параметры конденсаторов скрубберного и эжекторного типов.

Ключевые слова: сепарация, пиролизный газ, пиролизная жидкость, биотопливо, термическое разложение, ресурсосбережение.

Method of calculation of a two-stage separation system of a biofuel production installation

Victor G. Sotnikov	¹	vcvcvc12345678@gmail.com	 0000-0002-6202-5487
Rushan G. Safin	¹	safin@kstu.ru	 0000-0002-6202-5486
Aidar N. Zagirov	¹	aidarzagirov98@mail.ru	 0000-0001-9804-4236
Nail F. Timerbaev	¹	cpekgeu@gmail.com	 0000-0001-9804-4235
Denis A. Guryanov	¹	vcvcvc12345@gmail.com	 0000-0002-6202-5488
Almira R. Khabibullina	¹	almira-h@rambler.ru	 0000-0002-6202-5489

¹ Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia

Abstract. Currently, the processing of plant waste is a promising area of development in modern energy. There are many methods for recycling waste, but not all of them are economically feasible and environmentally friendly. One of the most common processing methods is fast ablative pyrolysis, designed for thermal processing of waste without access to oxygen. As a result of such processing, carbon residue and pyrolysis gas are formed. The amount of pyrolysis gases produced is 60 % or more of the mass of processed raw materials. In order for pyrolysis gases to become high-quality fuel, they must be subjected to a separation process that takes place in devices called a vapor condenser. When separating pyrolysis gases, it is better not to use conventional oil and gas condensers since the condensed pyrolysis gases have a high tar content, which causes faster wear of the device. For the installation for the production of pyrolysis fuel, a two-stage separation system is proposed, designed to separate pyrolysis gases into fractional components: pyrolysis distillate, non-condensable combustible gas and water. The article presents the design of a two-stage separation system. The principle of operation of a two-stage separation system is described, and a diagram of its structure is given. A method for calculating a two-stage separation system is presented, which makes it possible to determine the geometric parameters of scrubber and ejector type capacitors.

Keywords: separation, pyrolysis gas, pyrolysis liquid, biofuel, thermal decomposition, resource saving.

Для цитирования

Сотников В.Г., Сафин Р.Г., Загиров А.Н., Тимербаев Н.Ф., Гурьянов Д.А., Хабибуллина А.Р. Методика расчёта двухступенчатой системы сепарации установки для производства биотоплива // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 30–36. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-30-36

For citation

Sotnikov V.G., Safin R.G., Zagirov A.N., Timerbaev N.F., Guryanov D.A., Khabibullina A.R. Method of calculation of a two-stage separation system of a biofuel production installation. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 30–36. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-30-36

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

На сегодняшний день в России актуален вопрос об утилизации растительных отходов промышленных производств лесозаготовительного и деревообрабатывающего комплекса. Можно было бы вывозить мусор на утилизацию в специализированные комплексы, но промышленные производства лесозаготовительного и деревообрабатывающего комплекса строят на определенном расстоянии от населённых пунктов и из-за удаленности вывоз отходов может быть им не выгоден [1–4]. Поэтому на таких предприятиях начинает набирать популярность развитие технологий, связанных с использованием возобновляемых ресурсов, к которым относятся растительные отходы [5–8]. Одной из таких технологий является термическая переработка растительных отходов в пиролизное топливо. Суть данной технологии заключается в нагревании растительного сырья до температуры 500–900 °С, в результате чего происходит термическое разложение перерабатываемого сырья на углеродистый остаток и пиролизные газы. Из полученных пиролизных газов можно получить компоненты, применяемые в различных отраслях промышленности, но сначала их необходимо разделить на фракции неконденсирующегося газа и дистиллята [9–11].

Материалы и методы

Для сепарации газов на промышленных предприятиях используют различные устройства, однако для сепарации пиролизных газов стандартные модели сепараторов не подходят так как работают в пределах от -60 до 300 °С, а процесс пиролиза протекает при температуре 500 °С. Известные сепараторы не предназначены для работы с высокотемпературными и смолистыми газами [11].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что необходим сепаратор, который способен выдерживать высокие температуры поступающего газа, быть максимально простым в конструкции и устойчивым к смолистым соединениям.

Авторами разработана схема установки для производства пиролизного топлива предназначенная для переработки органических отходов (рисунок 1).

Конструктивно установка для производства пиролизного топлива состоит из: бункера сырья 1, сушильного аппарата 2, пиролизной камеры 3, камеры охлаждения угля 4, конденсатора первой ступени 5, конденсатора второй ступени 6, камеры сгорания 7, центробежного сепаратора 8, блока очистки 9, блока стабилизации 10, водяного теплообменника 11, в результате деятельности которых получают пиролизное топливо и технический углерод [12–15].

При проектировании установки необходимо учитывать, что рабочий процесс пиролиза протекает под воздействием высокой температуры, в результате которого образуется продукт, обладающий окислительной способностью. На основании этого можно сделать вывод, что узлы установки должны быть выполнены из стали, обладающей высокой сопротивляемостью к температуре и окислению.

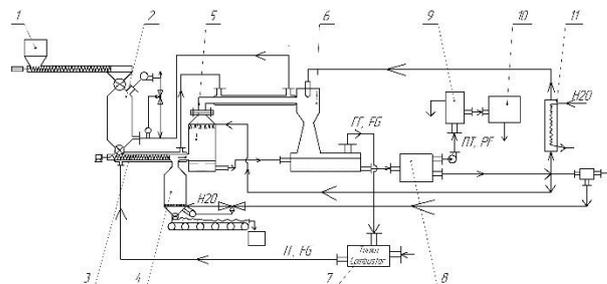


Рисунок 1. Схема установки для производства пиролизного топлива: 1. бункер сырья; 2. сушильный аппарат шахтного типа; 3. пиролизная камера; 4. камера охлаждения угля; 5. конденсатор первой ступени; 6. конденсатор второй ступени; 7. камера сгорания; 8. центробежный сепаратор; 9. блок очистки; 10. блок стабилизации; 11. водяной теплообменник; ТГ-топочный газ; ГГ-горючий газ; ПТ-пиролизное топливо

Figure 1. Installation diagram for the production of pyrolysis fuel: 1. raw material bunker; 2. shaft type drying apparatus; 3. pyrolysis chamber; 4. coal cooling chamber; 5. first stage capacitor; 6. second stage capacitor; 7. combustion chamber; 8. centrifugal separator; 9. cleaning unit; 10. stabilization unit; 11. water heat exchanger; FG-Flue gas; FG-Flammable gas; PF-Pyrolysis fuel

Одним из самых важных узлов установки является двухступенчатая система сепарации, предназначенная для получения пиролизной жидкости в результате дальнейшей обработки, которой получают пиролизное топливо. В связи с этим в данной работе разработана двухступенчатая система сепарации, представленная на рисунке 2, и методика расчета этой системы.

Принцип действия двухступенчатой системы сепарации заключается в следующем: пиролизный газ, через канал отвода газообразных продуктов пиролиза 1, поступает в конденсатор первой ступени 2, выполненный в виде скруббера, где под воздействием хладагента, поступающего из коллектора 3 происходит частичное охлаждение пиролизного газа и его превращение в первичный конденсат. Первичный конденсат отводится через канал отвода 4 в конденсатор второй ступени 5. Неконденсирующиеся горючие газы образовавшиеся в конденсаторе первой ступени отводятся через всасывающую линию 6, в конденсатор второй ступени 5 благодаря

эжекции охлажденной водой [15]. В результате смешения пиролизного газа с охлажденной водой образуется парожидкостная смесь, которая подается на наклонные ступенчатые желоба-дефлекторы 7, служащие для сепарирования парожидкостной смеси на дистиллят и несконденсировавшиеся газы. Отсепарированный дистиллят скапливается в нижней части конденсатора второй ступени попутно охлаждаясь хладагентом циркулирующим по змеевику 8, после чего проходит через перфорированную решётку 15, необходимую для образования ламинарного движения жидкости, в результате чего дистиллят разделяется на легкую и тяжелую фракции, слив которых осуществляется через патрубки 16 и 17. Несконденсировавшиеся газы проходят через систему очистки состоящую из каплеотбойников 9 и туманоуловителей 10 после чего покидают конденсатор второй ступени через патрубков выхода газов 11.

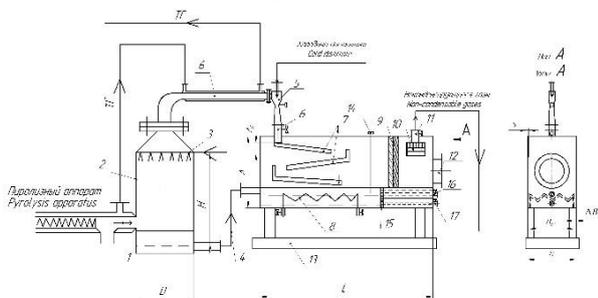


Рисунок 2. Схема двухступенчатой системы сепарации: 1 – канал отвода газообразных продуктов пиролиза из пиролизной камеры; 2 - конденсатор первой ступени; 3 – коллектор подачи хладагента; 4 – канал отвода первичного конденсата; 5 – конденсатор второй ступени; 6 – всасывающая линия конденсатора второй ступени; 7 – ступенчатые желоба-дефлекторы; 8 – змеевик; 9 – каплеотбойник; 10 – туманоуловитель; 11 – патрубок выхода газа; 12 – лаз; 13 – стойки; 14 – уровнемер; 15 – перфорированная решетка; 16 – патрубок отвода лёгкой фракции; 17 – патрубок отвода тяжелой фракции

Figure 2. Diagram of a two-stage separation system: 1 – channel for removing gaseous pyrolysis products from the pyrolysis chamber; 2 - first stage capacitor; 3 – refrigerant supply manifold; 4 – primary condensate drainage channel; 5 – second stage capacitor; 6 – suction line of the second stage condenser; 7 – stepped trough-deflectors; 8 – coil; 9 – drop eliminator; 10 – mist eliminator; 11 – gas outlet pipe; 12 – manhole; 13 – racks; 14 level gauge; 15 – perforated grille; 16 – light fraction outlet pipe; 17 – heavy fraction outlet pipe

Конденсатор первой ступени выполнен в виде скруббера, который выполняют функцию первичной очистки и конденсации пиролизных газов. Конденсатор второй ступени представляет собой эжектор, функцией которого является

всасывание несконденсированных пиролизных конденсатора первой ступени и их последующее охлаждение хладагентом с целью получения вторичного пиролизного конденсата [16–17].

Расчет геометрических параметров конденсаторов первой и второй ступени производится с учетом материального баланса, для определения которого используются такие данные как: массовый расход пиролизных газов на ступени G и процентное содержание газовой g и жидкой j фазы. Индексы 1 – конденсатор первой ступени, 2 – конденсатор второй ступени.

Зная процентное соотношение газовой g и жидкой j фазы, можно определить количество расходов жидкости G_j , [кг/ч] и газа G_g , [кг/ч] по формулам:

$$G_{j1} = j_1 G_1 \quad (1)$$

$$G_{j2} = j_2 G_2 \quad (2)$$

$$G_{g1} = g_1 G_1 \quad (3)$$

$$G_{g2} = g_2 G_2 \quad (4)$$

Определив по формулам 1 и 2 количество расходов жидкости и газа, а также зная значение плотности жидкости ρ_j , [кг/м³] и газа ρ_g , [кг/м³] можно определить объёмные производительности V_g [м³/ч] и V_j [м³/ч]:

$$V_{g1} = \frac{G_{g1}}{\rho_{g1}} \quad (5)$$

$$V_{g2} = \frac{G_{g2}}{\rho_{g2}} \quad (6)$$

$$V_{j1} = \frac{G_{j1}}{\rho_{j1}} \quad (7)$$

$$V_{j2} = \frac{G_{j2}}{\rho_{j2}} \quad (8)$$

Оперируя данными материального баланса, задаются размеры основные размеры конденсатора второй ступени (высота A_2 [м], ширина B_2 [м]), по формулам:

$$A_2 = 1,5 \sum A_{d2} \quad (9)$$

где, A_{d2} , [м] – высота вмонтированного дефлектора с учетом угла наклона, суммарное количество которых определяется степенью необходимой очистки и видом переработанного сырья.

$$B_2 = B_{d2} + 2\Delta B_2 \quad (10)$$

где, B_{d2} – ширина змеевика [м], зависит от объёмной производительности по жидкости, ΔB_2 – зазор [м].

Диаметр бака конденсатора первой ступени D [м] и его высота H [м], а также длина емкости бака конденсатора второй ступени L , [м] находятся по формулам [20]:

$$D = \sqrt{\frac{4000 V_{g1}}{\omega_{nz} \pi}} \quad (11)$$

$$H = (3k_p) D_1 \quad (12)$$

$$L = \frac{V_{пл}}{A_2 B_2} (k_3 + k_p) \quad (13)$$

где k_p – безразмерный коэффициент сжатия газа (0,6–0,85); $V_{пл}$ – объём пиролизного дистиллята [м³]; k_3 – коэффициент запаса (1–1,7), зависящий от степени наполнения бака конденсатора адсорбирующими элементами.

Для определения толщины стенок резервуара конденсатора S [м] используется формула:

$$S = \frac{P (D_1/2)}{2[\sigma]_T} + kc \quad (14)$$

где $[\sigma]_T$ – допускаемое напряжение [МПа]; kc – прибавка на коррозию; P – давление газа [МПа].

Установка двухступенчатой системы сепарации предназначена для работы с веществами обладающими высокими температурами (до 700 °С), из-за чего корпус и элементы установки требуется изготовить из стали Х18Н12Т, так как данная сталь обладает сопротивляемостью к высоким температурам и агрессивным средам.

Принцип действия конденсатора второй ступени основан на работе газожидкостного эжектора. Эффективность работы эжектирующих устройств зависит от коэффициента эжекции, величина которого может изменяться в диапазоне значений от 0,1 до 0,9. Изменение коэффициента эжекции происходит из-за увеличения или уменьшения количества расхода эжектирующей жидкости. Уменьшение коэффициента эжекции происходит за счёт увеличения скорости потока жидкости, благодаря чему уменьшится количество пиролизной жидкости, прилипшей к стенкам эжектирующего устройства [17].

Конструкция газожидкостного эжектора представлена на рисунке 3

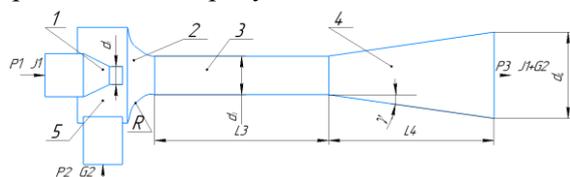


Рисунок 3. Газожидкостный эжектор: 1- сопло; 2- входной участок; 3- камера смешения; 4- диффузор; 5- приемная камера

Figure 3. Gas-liquid ejector: 1- nozzle; 2- entrance area; 3- mixing chamber; 4- diffuser; 5- receiving chamber

Для того, чтобы рассчитать эжекционную систему конденсатора второй ступени необходимо определить выходное сечение рабочего сопла f_{p1} , [м²], но перед этим необходимо рассчитать удельный объём эжектирующей жидкости v_p [м³/кг]:

$$v_p = \frac{1}{p_i} \quad (15)$$

$$f_{p1} = \frac{V_{j2}}{\varphi} / \sqrt{\frac{v_p J_1}{2P_{вх}}} \quad (16)$$

где φ – коэффициент скорости, равный 0,95; J_1 – скорость охлаждающей жидкости [м/с].

Одним из важнейших составляющих является диаметр выводного сечения рабочего сопла d_1 [м]:

$$d_1 = 2\sqrt{\frac{f_{p1}}{\pi}} \quad (17)$$

Перед расчетом площади торцевого сечения камеры смешения необходимо рассчитать коэффициенты:

$$c = 1.19 * (1 + \beta^2) \quad (18)$$

$$b = (0.975 + c - 0.78\beta^2) \quad (19)$$

где β – коэффициент эжекции.

После нахождения коэффициентов производится расчёт площади торцевого сечения f_3 [м²] по формуле:

$$f_3 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} f_{p1} \quad (20)$$

где $a = 0,95$.

Диаметр камеры смешения d_3 [м] рассчитывается по соотношению:

$$d_3 = 2\sqrt{\frac{f_3}{\pi}} \quad (21)$$

Радиус входного участка рассчитывается по соотношению:

$$R = 0.8d_3 \quad (22)$$

Диаметр диффузора d_4 [м] и длина диффузора L_4 [м] рассчитываются по формулам:

$$d_4 = 4\sqrt{\frac{f_3}{\pi}} \quad (23)$$

$$L_4 = \text{tg} \gamma \left(\frac{d_4}{2} - \frac{d_3}{2} \right) \quad (24)$$

Длина камеры смешения L_3 [м], определяется из соотношения:

$$L_3 = 8d_3 \quad (25)$$

На основании описанных выше формул составлена блок схема для расчёта двухступенчатой системы сепарации приведенная на рисунке 5.

Результаты и обсуждения

Расчёт начинается с введения постоянных и вариативных данных. Во втором блоке ведётся расчет материального баланса двухступенчатой системы сепарации. В третьем блоке ведётся расчет геометрических параметров конденсаторов. В четвертом блоке производится расчёт эжектора конденсатора второй ступени.

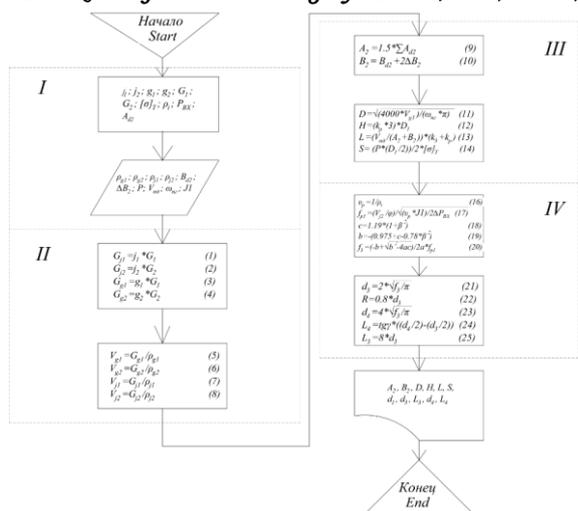


Рисунок 4. Блок схема двухступенчатой системы сепарации: I – исходные данные; II – расчет материального баланса; III – расчёт геометрических параметров конденсаторов; IV – расчёт эжектора

Figure 4. Block diagram of a two-stage separation system: I – initial data; II – calculation of material balance; III – calculation of geometric parameters of capacitors; IV – ejector calculation

Моделированием процесса в соответствии с методикой расчета были получены расчётные зависимости, приведенные на рисунках 5 и 6.

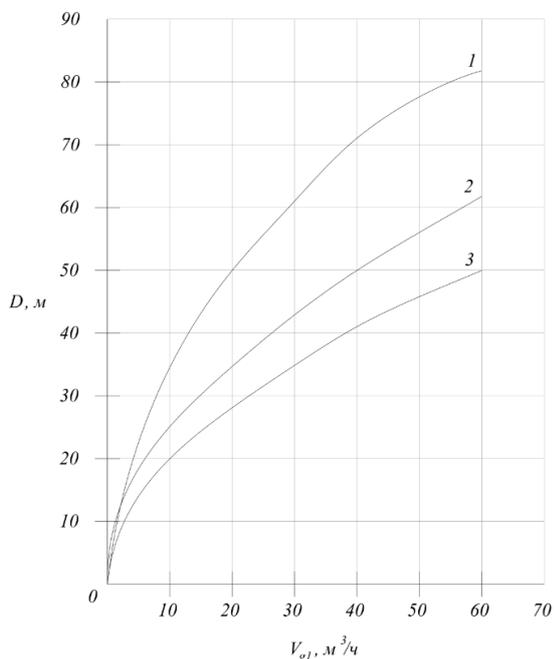


Рисунок 5. Зависимость диаметра конденсатора первой ступени от объёмной производительности по газу: 1 – $\omega_{\text{ПГ}} = 10$, 2 – $\omega_{\text{ПГ}} = 20$, 3 – $\omega_{\text{ПГ}} = 30$

Figure 5. Dependence of the diameter of the first stage condenser on the gas volumetric productivity: 1 – $\omega_{\text{ПГ}} = 10$, 2 – $\omega_{\text{ПГ}} = 20$, 3 – $\omega_{\text{ПГ}} = 30$

На рисунке 5 изображена зависимость диаметра конденсатора первой ступени от объёмной производительности по газу, при разных скоростях пиролизного газа. Анализ показал,

чем больше скорость пиролизного газа при поступлении в конденсатор тем меньше должен быть диаметр конденсатора. При высокой скорости пиролизного газа, охлаждающая жидкость не успевает охладить весь пиролизный газ и большее его количество покидает конденсатор первой ступени. С другой стороны, при уменьшении диаметра плотность хладагента увеличивается, что позволяет легче улавливать все пиролизные газы, поступившие в конденсатор первой ступени [18].

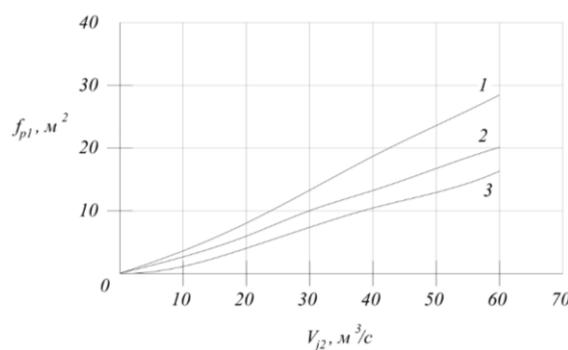


Рисунок 6. Зависимость сечения рабочего сопла эжектора от объёмной производительности по жидкости: 1 – $J_1 = 10$, 2 – $J_1 = 20$, 3 – $J_1 = 30$

Figure 6. Dependence of the cross-section of the ejector working nozzle on the volumetric productivity of liquid: 1 – $J_1 = 10$, 2 – $J_1 = 20$, 3 – $J_1 = 30$

На рисунке 6 изображена зависимость сечения рабочего сопла газожидкостного эжектора от объёмной производительности по жидкости, из которой видно, что при уменьшении сечения рабочего сопла увеличится скорость выхода охлаждающей жидкости. Это обусловлено тем, что чем меньше сечение, а следовательно, и диаметр рабочего сопла тем выше скорость распыления хладагента в эжекторе [19, 20].

Заклучение

При использовании двухступенчатой системы сепарации не требуется использовать внешние источники хладагента, благодаря чему происходит экономия средств и ресурсов для производства пиролизного топлива. Помимо этого, двухступенчатая система сепарации имеет простые и эффективные конструктивные решения и способна долгое время работать в агрессивных и высокотемпературных средах. Используя данную систему, можно производить пиролизное топливо, которое может служить заменой топливу, получаемому из нефти. Используя предлагаемую выше методику, можно произвести расчёт сепараторов пиролизных газов для разной производительности. На основании предлагаемой методики была составлена блок схема и приведены зависимость диаметра конденсатора первой ступени от объёмной производительности и зависимость сечения рабочего сопла эжектора от объёмной производительности.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда № 23-26-00036,
<https://rscf.ru/project/23-26-00036/>

Acknowledgments

The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-26-00036,
<https://rscf.ru/project/23-26-00036/>

Литература

- 1 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Загиров А.Н., Мифтахов Р.А. Переработка органических отходов в пиролизное топливо // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 4(56). С. 116–125. doi: 10.18324/2077–5415–2022–4–116–125.
- 2 Сотников В.Г., Загиров А.Н., Гурьянов Д.А. и др. Обзор существующих установок для производства пиролизного топлива // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 3(59). С. 117–122. doi: 10.18324/2077–5415–2023–3–117–122
- 3 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Загиров А.Н. Исследование сепарирования пиролизных газов при различном влагосодержании растительного сырья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 3(101). С. 155–160. doi: 10.37670/2073–0853–2023–101–3–155–160.
- 4 Пат. № 2694347, RU, С10В 53/00. Способ получения активированного угля / Сафин Р.Г., Зиятдинов Р.Р., Сафин Р.Р. и др. № 2019100413; Заявл. 09.01.2019; Опубл. 11.07.2019.
- 5 Пат. № 2655757, RU, С11В 1/10, С08В 37/00. Установка для комплексной переработки древесины лиственницы / Сафина А.В., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф. и др. № 2017123820; Заявл. 05.07.2017; Опубл. 29.05.2018.
- 6 Чу Конг Нги, Спицын А.А., Пономарев Д.А., Чухчин Д.Г. и др. Получение и активирование биоуглерода из бамбука // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. № 225. С. 226–236. doi: 10.21266/2079–4304.2018.225.226–236
- 7 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Зиятдинова Д.Ф. Пирогенетическая переработка органических отходов текстильной промышленности в адсорбенты // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5(395). С. 229–235. doi: 10.47367/0021–3497_2021_5_229
- 8 Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Рябушкин Д.Г., Ланкин К.А. и др. Конденсатор смешения для разделения пиролизных газов // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 4. С. 45–55.
- 9 Сафин Р.Г., Сафина А.В., Валеев К.В., Фахрутдинов Р.Р. Способ получения композиционного материала на основе отходов текстильной промышленности и арабиногалактана // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 297–302. doi: 10.47367/0021–3497_2021_6_297
- 10 Зиннурова О.В., Фаттахов Д.А. Получение биодизеля из кофейной гущи сортов арабика и робуста // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2022. №5. С. 11.
- 11 Garland N.T., Kaveti R., Bandothkar A.J. Biofluid activated biofuel cells, batteries, and supercapacitors: a comprehensive review // Advanced Materials. 2023. V. 35. №. 52. P. 2303197.
- 12 Yang Y. et al. An overview of biofuel power generation on policies and finance environment, applied biofuels, device and performance // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2021. V. 8. №. 4. P. 534–553.
- 13 Malode S.J. et al. Recent advances and viability in biofuel production // Energy Conversion and Management: X. 2021. V. 10. P. 100070.
- 14 Srivastava R.K. et al. Biomass utilization and production of biofuels from carbon neutral materials // Environmental Pollution. 2021. V. 276. P. 116731.
- 15 Stamenković O.S. et al. Production of biofuels from sorghum // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. V. 124. P. 109769.
- 16 Kumar M. et al. Algae as potential feedstock for the production of biofuels and value-added products: Opportunities and challenges // Science of the Total Environment. 2020. V. 716. P. 137116.
- 17 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Installation for the Processing of Plant Waste into Activated Carbon // Lecture Notes in Mechanical Engineering this link is disabled. 2023. P. 809–818.
- 18 Сафин Р.Г., Сотников В.Г. Энергосберегающая установка переработки органических отходов в топливо и адсорбенты // Российский химический журнал. 2023. Т. 67. № 3. С. 17–24. doi: 10.6060/rcj.2023673.3
- 19 Huang X., Cheng D., Chen F., Zhan X. Reaction pathways of hemicellulose and mechanism of biomass pyrolysis in hydrogen plasma: A density functional theory study // Renew Energy. 2016. V. 96. P. 490–497.
- 20 Yaashikaa P.R., Kumar P.S., Karishma S. Bio-derived catalysts for production of biodiesel: A review on feedstock, oil extraction methodologies, reactors and lifecycle assessment of biodiesel // Fuel. 2022. V. 316. P. 123379.

References

- 1 Safin R.G., Sotnikov V.G., Zagirov A.N., Miftakhov R.A. Processing of organic waste into pyrolysis fuel. Systems. Methods. Technologies. 2022. no. 4(56). pp. 116–125. doi: 10.18324/2077–5415–2022–4–116–125. (in Russian).
- 2 Sotnikov V.G., Zagirov A.N., Guryanov D.A. et al. Review of existing installations for the production of pyrolysis fuel. Systems. Methods. Technologies. 2023. no. 3(59). pp. 117–122. doi: 10.18324/2077–5415–2023–3–117–122 (in Russian).
- 3 Safin R.G., Sotnikov V.G., Zagirov A.N. Study of separation of pyrolysis gases at different moisture content of plant raw materials. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2023. no. 3(101). pp. 155–160. doi: 10.37670/2073–0853–2023–101–3–155–160. (in Russian).
- 4 Safin R.G., Ziatdinov R.R., Safin R.R. et al. Method for producing activated carbon. Patent RF, no. 2694347, 2019.
- 5 Safina A.V., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F. et al. Installation for complex processing of larch wood. Patent RF, no. 2655757, 2018.
- 6 Chu Kong Ngi, Spitsyn A.A., Ponomarev D.A., Chukhchin D.G. et al. Obtaining and Activating Biocarbon from Bamboo. Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy. 2018. no. 225. pp. 226–236. doi: 10.21266/2079–4304.2018.225.226–236 (in Russian).
- 7 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Pyrogenetic processing of organic waste from the textile industry into adsorbents. News of higher educational institutions. Technology of the textile industry. 2021. no. 5(395). pp. 229–235. doi: 10.47367/0021–3497_2021_5_229 (in Russian).
- 8 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ryabushkin D.G., Lankin K.A. et al. Mixing condenser for the separation of pyrolysis gases. Woodworking industry. 2021. no. 4. pp. 45–55. (in Russian).
- 9 Safin R.G., Safina A.V., Valeev K.V., Fakhрутдинов R.R. Method for producing a composite material based on textile industry waste and arabinogalactan. News of higher educational institutions. Textile industry technology. 2021. no. 6(396). pp. 297–302. doi: 10.47367/0021–3497_2021_6_297 (in Russian).
- 10 Zinnurova O.V., Fattakhov D.A. Obtaining biodiesel from Arabica and Robusta coffee grounds. International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral". 2022. no. 5. pp. 11. (in Russian).

- 11 Garland N.T., Kaveti R., Bandodkar A.J. Biofluid activated biofuel cells, batteries, and supercapacitors: a comprehensive review. *Advanced Materials*. 2023. vol. 35. no. 52. pp. 2303197.
- 12 Yang Y. et al. An overview of biofuel power generation on policies and finance environment, applied biofuels, device and performance. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2021. vol. 8. no. 4. pp. 534-553.
- 13 Malode S.J. et al. Recent advances and viability in biofuel production. *Energy Conversion and Management: X*. 2021. vol. 10. pp. 100070.
- 14 Srivastava R.K. et al. Biomass utilization and production of biofuels from carbon neutral materials. *Environmental Pollution*. 2021. vol. 276. pp. 116731.
- 15 Stamenković O.S. et al. Production of biofuels from sorghum. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. vol. 124. pp. 109769.
- 16 Kumar M. et al. Algae as potential feedstock for the production of biofuels and value-added products: Opportunities and challenges. *Science of the Total Environment*. 2020. vol. 716. pp. 137116.
- 17 Safin R.G., Sotnikov V.G., Ziatdinova D.F. Installation for the Processing of Plant Waste into Activated Carbon. *Lecture Notes in Mechanical Engineering* this link is disabled. 2023. pp. 809–818.
- 18 Safin R.G., Sotnikov V.G. Energy-saving installation for processing organic waste into fuel and adsorbents. *Russian Chemical Journal*. 2023. vol. 67. no. 3. pp. 17-24. doi: 10.6060/rcj.2023673.3 (in Russian).
- 19 Huang X., Cheng D., Chen F., Zhan X. Reaction pathways of hemicellulose and mechanism of biomass pyrolysis in hydrogen plasma: A density functional theory study. *Renew Energy*. 2016. vol. 96. pp. 490–497.
- 20 Yaashikaa P.R., Kumar P.S., Karishma S. Bio-derived catalysts for production of biodiesel: A review on feedstock, oil extraction methodologies, reactors and lifecycle assessment of biodiesel. *Fuel*. 2022. vol. 316. pp. 123379.

Сведения об авторах

Виктор Г. Сотников ассистент, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, vcvvcv12345678@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-6202-5487>

Рушан Г. Сафин д.т.н., профессор, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, safin@kstu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6202-5486>

Айдар Н. Загиров инженер, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, aidarzagirov98@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9804-4236>

Наиль Ф. Тимербаев д.т.н., профессор, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, cpekgeu@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-9804-4235>

Денис А. Гурьянов аспирант, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, vcvvcv12345@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-6202-5488>

Альмира Р. Хабибуллина к.т.н., доцент, кафедра переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса 68, г. Казань, 420015, Россия, almira-h@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6202-5489>

Вклад авторов

Виктор Г. Сотников написал основную часть статьи, выполнил расчёты

Рушан Г. Сафин консультация в ходе проведения расчетов, руководил общим написанием статьи, корректировал её до подачи в редакцию

Айдар Н. Загиров обзор литературных источников, написание основного текста статьи, выполнение расчетов

Наиль Ф. Тимербаев консультация в ходе проведения расчетов

Денис А. Гурьянов обзор литературных источников по исследуемой теме

Альмира Р. Хабибуллина несёт ответственность за антиплагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Victor G. Sotnikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, vcvvcv12345678@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-6202-5487>

Rushan G. Safin Dr. Sci. (Engin.), professor, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, safin@kstu.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6202-5486>

Aidar N. Zagirov engineer, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, aidarzagirov98@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9804-4236>

Nail F. Timerbaev Dr. Sci. (Engin.), professor, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, cpekgeu@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-9804-4235>

Denis A. Guryanov graduate student, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, vcvvcv12345@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-6202-5488>

Almira R. Khabibullina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, processing of wood materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx 68, Kazan, 420015, Russia, almira-h@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6202-5489>

Contribution

Victor G. Sotnikov wrote the main text of the article and performed the calculations

Rushan G. Safin consultation during the calculations, supervised the overall writing of the article, corrected it before submission to the editor

Aidar N. Zagirov review of literature sources, writing the main text of the article, performing calculations

Nail F. Timerbaev consultation during calculations

Denis A. Guryanov review of literary sources on the topic under study

Almira R. Khabibullina is responsible for anti-plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/07/2024	После редакции 06/08/2024	Принята в печать 28/08/2024
Received 18/07/2024	Accepted in revised 06/08/2024	Accepted 28/08/2024