



(51) МПК  
*C10L 5/44* (2006.01)  
*C10B 53/02* (2006.01)  
*C10B 47/28* (2006.01)  
*C10B 49/02* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

*C10L 5/44 (2022.08); C10B 53/02 (2022.08); C10B 47/28 (2022.08); C10B 49/02 (2022.08)*

(21)(22) Заявка: 2021107560, 22.03.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 22.03.2021

Дата регистрации:  
 08.12.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.03.2021

(43) Дата публикации заявки: 27.09.2022 Бюл. № 27

(45) Опубликовано: 08.12.2022 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

664007, г. Иркутск, ул. Красногвардейская, 16,  
 кв. 55, Петрушева Елена Леонидовна

(72) Автор(ы):

Пекарец Александр Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью  
 "ПРОМЕТЕЙ" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 2628602 C1, 21.08.2017. RU  
 2678089 C1, 23.01.2019. WO 2010132970 A1,  
 25.11.2010. CA 2812777 C, 20.06.2017. FR 2419487  
 B3, 08.01.1982.

(54) Способ торрефикации биомассы и установка для реализации данного способа

(57) Реферат:

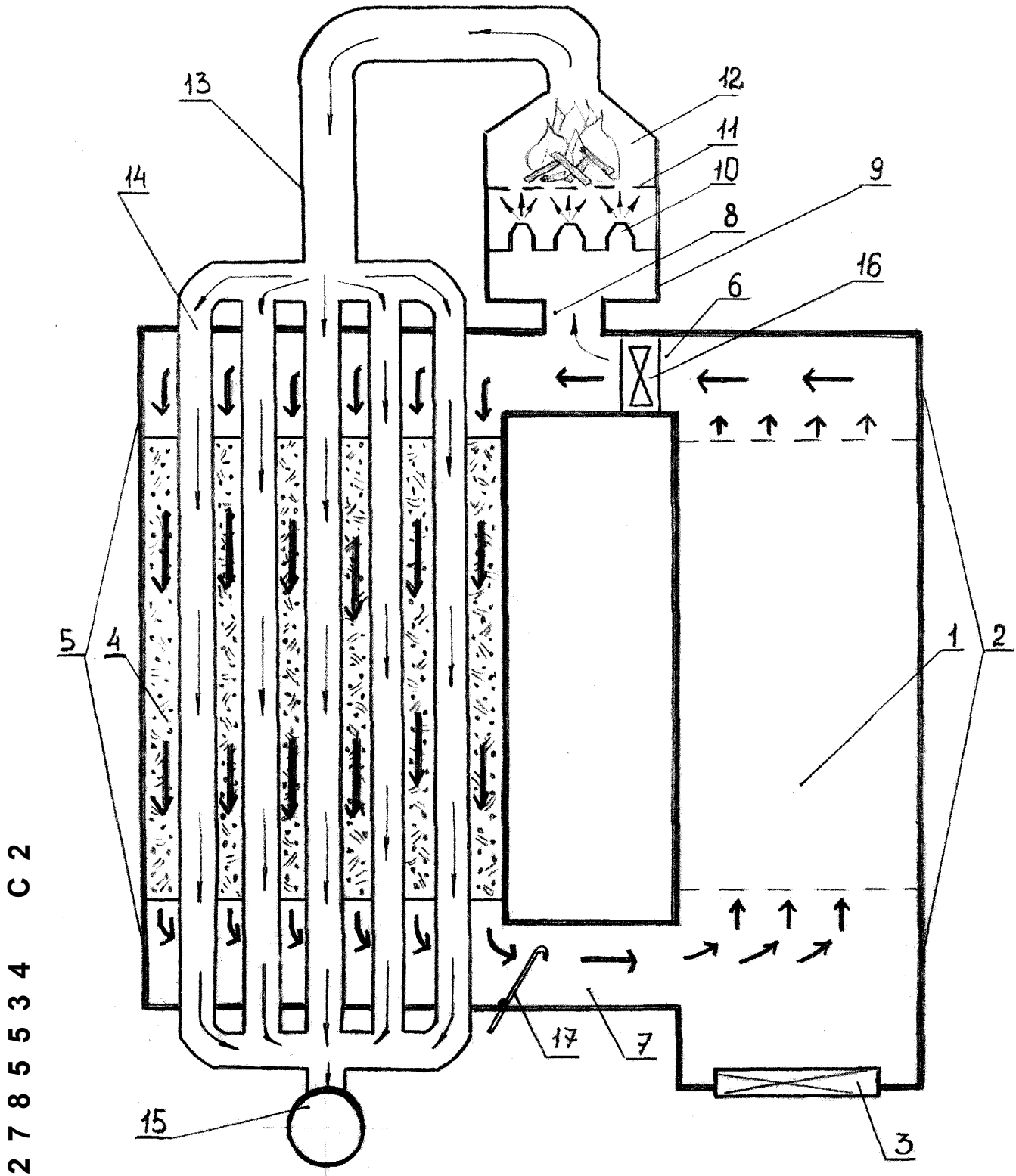
Изобретение относится к технологии торрефикации биомассы. Предложен способ торрефикации биомассы древесного происхождения, осуществляемый в интервале температур, соответствующих эндотермическому периоду терморазложения древесины, конвективной теплопередачей в режиме циркуляции газообразного теплового потока, отличающийся тем, что на торрефикацию направляют формованную биомассу партиями, причем нагрев циркулирующего газообразного теплового потока осуществляют теплом газопроницаемого рекуперативного теплообменника, нагрев которого осуществляют горячими газами, являющимися преимущественно

продуктом сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации, при этом температуру циркулирующего газообразного теплового потока поддерживают в диапазоне 200°C÷270°C, а температуру газообразных продуктов сжигания летучих органических соединений на входе в рекуператор поддерживают в диапазоне 400°C÷700°C. Также предложена установка для торрефикации биомассы. Технический результат заключается в реализации технологии торрефикации биомассы с максимальным использованием энергии газов торрефикации. 2 н. и 15 з.п. ф-лы, 1 ил.

R U 2 7 8 5 5 3 4 C 2

R U 2 7 8 5 5 3 4 C 2

(Принципиальная схема: вид сверху, продольный разрез)



ФИГ.1

RU 2785534 C2

RU 2785534 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C10L 5/44* (2006.01)  
*C10B 53/02* (2006.01)  
*C10B 47/28* (2006.01)  
*C10B 49/02* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*C10L 5/44 (2022.08); C10B 53/02 (2022.08); C10B 47/28 (2022.08); C10B 49/02 (2022.08)*(21)(22) Application: **2021107560, 22.03.2021**(24) Effective date for property rights:  
**22.03.2021**Registration date:  
**08.12.2022**

Priority:

(22) Date of filing: **22.03.2021**(43) Application published: **27.09.2022** Bull. № 27(45) Date of publication: **08.12.2022** Bull. № 34

Mail address:

**664007, g. Irkutsk, ul. Krasnogvardejskaya, 16, kv.  
55, Petrusheva Elena Leonidovna**

(72) Inventor(s):

**Pekarets Aleksandr Andreevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu  
"PROMETEJ" (RU)**(54) **METHOD FOR TORREFACTION OF BIOMASS AND INSTALLATION FOR IMPLEMENTATION OF THIS METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: woodworking industry.

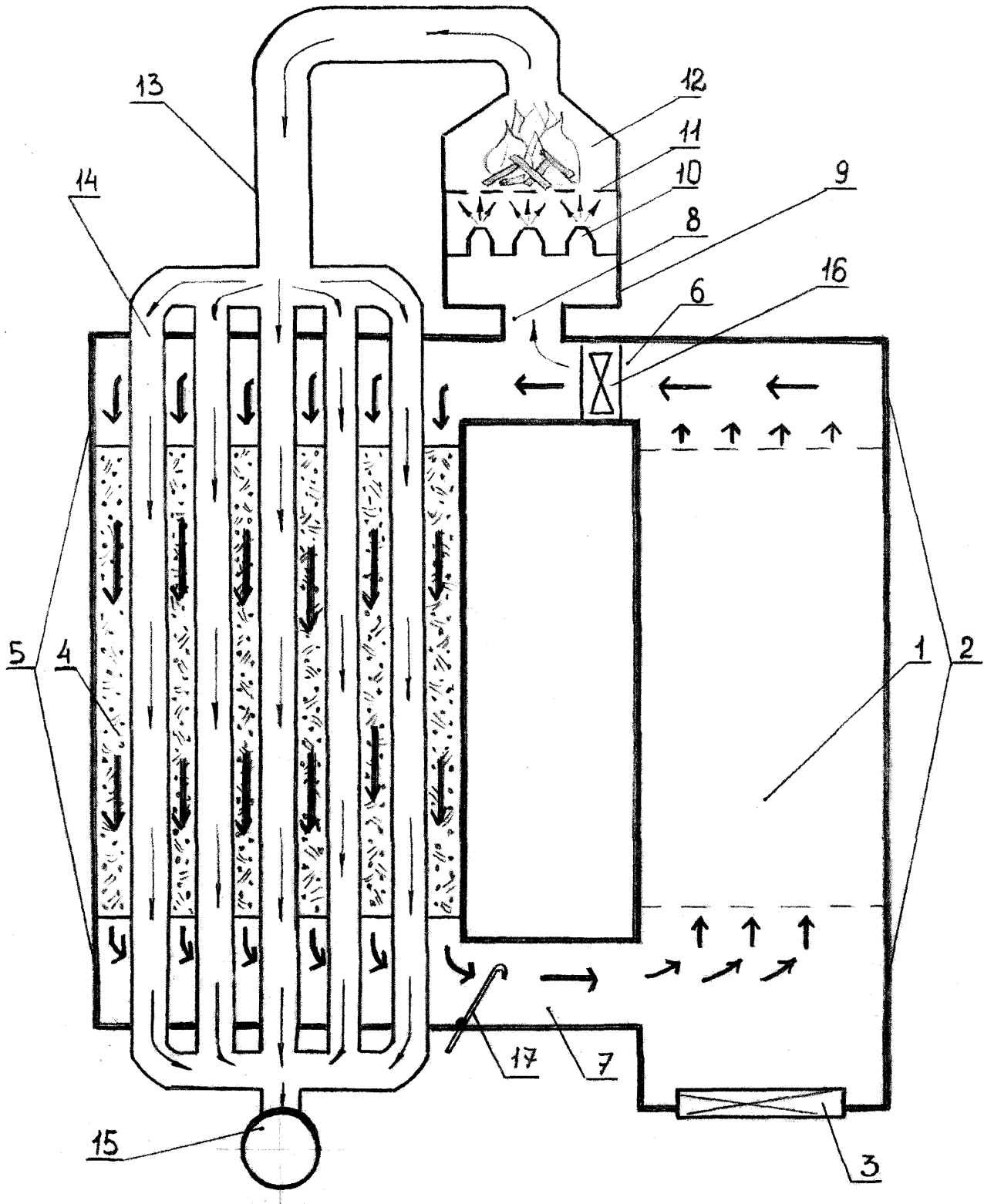
SUBSTANCE: invention relates to a technology of biomass torrefaction. A method for torrefaction of biomass of wood origin is proposed, implemented at a temperature interval corresponding to an endothermal period of wood thermal decomposition by convective heat transfer in a mode of circulation of a gaseous heat flow. The method differs in that molded biomass is directed to torrefaction in batches, wherein heating of the circulating gaseous heat flow is carried out with heat of a gas-permeable recuperative heat exchanger, heating of which is carried out with hot gases, which are mostly a product of combustion of volatile organic

compounds distilled from biomass during torrefaction. In this case, a temperature of the circulating gaseous heat flow is maintained in the range of 200°C÷270°C, and a temperature of gaseous products of combustion of volatile organic compounds at an input to the recuperator is maintained in the range of 400°C÷700°C. An installation for torrefaction of biomass is also proposed.

EFFECT: implementation of a technology of biomass torrefaction with the maximum use of energy of torrefaction gases.

17 cl, 1 dwg

(Принципиальная схема: вид сверху, продольный разрез)



ФИГ.1

RU 2785534 C2

RU 2785534 C2

В последние годы в биоэнергетической отрасли стало актуальным направлением развитие новой технологии производства продукта, который называют торрефицированной биомассой, торрефикатом или биоуглем («biocoal»). Торрефикация - это процесс воздействия на древесные волокна в бескислородной среде, когда протекают преимущественно эндотермические реакции, превращающие древесину в обожженную древесину.

Данное направление актуализировалось на фоне современного энергетического европейского тренда - поэтапного отказа от каменного угля и максимального перехода на возобновляемые источники энергии. Как один из вариантов такого источника энергии рассматривается биотопливо. Отсюда, главное требование к биотопливу сводится к тому, чтобы его теплотворная способность была приближена к теплотворности каменного угля, а также, чтобы биотопливо было транспортабельно, гидрофобно и технологично с точки зрения переработки на действующих энергетических станциях, спроектированных под переработку каменного угля.

Под термином биотопливо («biocoal») понимается любое топливо растительного происхождения, которое в результате термической обработки приобретает свойства, приближенные к свойствам каменного угля. А торрефикация - это способ создания, по сути, традиционного продукта из нетрадиционного возобновляемого сырья. Неоспоримым преимуществом торрефиката является тот факт, что при его сжигании снижаются не менее, чем в три раза выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу по сравнению с углем при том же количестве получаемой теплоэнергии.

Древесина содержит воду, целлюлозу, гемицеллюлозу, лигнин и небольшую долю растворимых экстрактивных веществ (липидов и терпенов), а также другие соединения, связанные с углеродом. При сжигании древесины образуется целый ряд загрязняющих газов, таких как оксид углерода, метан, оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) и т.д. Газы и дым от сжигания древесины при охлаждении образуют сажу, креозот и другие токсические вещества. При этом известно, что летучие органические соединения (ЛОС) древесины горят намного чище при условии низкой ее влажности. При торрефикации влажность биомассы максимально снижается, что приводит не только к повышению эксплуатационных характеристик топлива из биомассы, но и к снижению экологически вредных выбросов, а также снижению балластной компоненты биотоплива, повышая тем самым его теплотворность.

С точки зрения продвижения любого продукта на рынке потребления определяющим фактором является его рентабельность. Существует скептическое мнение, что дополнительные затраты, связанные с производством торрефиката, не окупятся при реализации его на традиционном рынке биотоплива.

К тому же регулярных поставок биоугля на мировом рынке пока немного даже в условиях повышенного интереса к этому продукту.

Как в таких условиях надежно прогнозировать цену реализации торрефиката? Как оценить рентабельность проекта по его производству и переработке?

Ответ на поставленный вопрос заключен в реалиях формирования самого рынка твердого биотоплива, где фактически продают и покупают не тонны пеллет, брикетов или щепы, а мегаджоули энергии, которая содержится в топливе и может быть выработана при его сжигании. Все или почти все контракты на поставку твердого биотоплива промышленными партиями содержат поправку к цене ( $K_{\text{попр.}}$ ), пропорциональную фактической калорийности топлива. Эта поправка рассчитывается по формуле:

$K_{\text{попр.}} = W_{\text{факт.}} / W_{\text{баз.}}$ , где

$W_{\text{факт.}}$  - фактическая теплотворная способность топлива по результатам контроля конкретной партии;

$W_{\text{баз.}}$  - базовая теплотворная способность (обычно от 16 МДж/кг).

Таким образом, если средняя цена обычных пеллет по данным Немецкой ассоциации энергетической древесины и пеллет (DEPV) в январе 2019 года составляла 265 € за тонну при теплотворной способности 17 МДж/кг, то при средней теплотворной способности торрефиката, полученного по предлагаемому к рассмотрению способу, в 22 МДж/кг, цена возрастает до 343 € за тонну.

Значит, для повышения рентабельности торрефиката перед его производителями стоит задача максимального удаления влаги при максимальном сохранении летучих калорийных органических углеводов, наличие которых в торрефицированной биомассе повышает ее теплотворность.

Привлекательность торрефиката с точки зрения промышленного потребления на энергетических объектах значительно повышается при обеспечении возможности его совместного с углем хранения, технологической подготовки, подачи на сжигание и непосредственного сжигания, причем без конструктивных и технологических изменений в существующей схеме переработки угля. На практике это возможно только при поставках торрефиката в формованном виде.

Создание современной технологии индустриального производства торрефиката возможно лишь при использовании инновационного подхода. В настоящее время ведется активная изобретательская работа в этой области.

Основная масса существующих на сегодняшний день технологий торрефикации биомассы предполагает наличие двух основных последовательных этапов, а именно: торрефикацию измельченной биомассы и последующее ее формование. На этапе формования имеют место объективные трудности, главная из которых - плохая прессуемость термообработанной биомассы. Для повышения формуемости биомассы предлагаются разнообразные технологии от применения значительных усилий прессования до применения различных пластифицирующих добавок.

Известные способы торрефикации предшествующего уровня техники использовали пар, воздух, инертный газ, вакуум и перегретый пар, то есть теплоноситель в технологический процесс вводился из дополнительного технологического передела его приготовления.

Предшествующие технологии идут двумя путями конвекционного нагрева:

- при прямом контакте с инертным газом в качестве теплоносителя;
- при косвенном контакте с паром.

При этом для производства торрефиката используют различные типы оборудования: реторты, барокамеры, стационарные и вращающиеся печи и т.д. Типичные температуры торрефикации - в диапазоне от 240°C до 280°C; давление - от атмосферного до давления пара более 40 кг/см<sup>2</sup>; время - от 1 до 3 часов.

При использовании пара под высоким давлением и более высоких температур время торрефикации может быть сокращено до менее, чем одного часа, поэтому в дальнейшем были предприняты различные попытки усовершенствовать и улучшить процесс торрефикации с использованием пара высокого давления, высокотемпературного инертного газа, перегретого пара и другие процессы с применением газового теплоносителя при различных давлениях (с применением вакуумирования).

Но все существующие технологии не смогли обеспечить практическое преобразование

древесины в торрефицированную древесину (TW) простым, быстрым, практичным, безопасным, единообразным и экономичным способом. В связи с этим подавляющая часть технологий предшествующего уровня не реализована в промышленных масштабах, а, в лучшем случае, доведены лишь до демонстрационных проектов.

5 В качестве аналога для предполагаемого изобретения «Способ торрефикации биомассы и установка для реализации данного способа» автор считает целесообразным привести изобретение по американскому патенту US 2012/0124901 A1 «Производство топлива» (МПК - C10L 5/44; приоритет от 21.05.2006; изобретатель и заявитель - PAOLUCCIO JOHN). Данный аналог был выбран для демонстрации технического решения, направленного на торрефикацию формованной биомассы.

10 Для данной технологии идеальной формой древесной биомассы, поступающей на торрефикацию, являются древесные гранулы, но также возможны и другие объемные формы, например: пеллеты, брикеты и т.п. Возможность перехода на торрефикацию объемных форм связана с применением теплопередачи при погружении в жидкость, так как теплопередача в жидкой среде проходит значительно интенсивнее. Технология реализуется в непрерывном потоке с применением системы непрерывного действия конвейерного типа. В качестве жидкости, участвующей в теплопередаче, используют горючую парафиновую жидкость с низким давлением пара при высоких температурах. Предпочтение отдается органическим жидкостям, сохраняющим очень низкое давление пара, близкое к атмосферному, при температурах до 600°F (316°C). Это позволяет работать всей трубопроводной системе при атмосферном давлении.

Устройство для торрефикации выполнено с пространственным разделением на зону предварительного прогрева, зону торрефикации и зону охлаждения со снятием тепла, возвращаемого в зону предварительного прогрева из зоны охлаждения.

25 В этом изобретении рабочая температура жидкого теплоносителя изменяется в пределах  $249^{\circ}\text{C} \pm 5 \div 10\%$  в зависимости от используемого жидкого теплоносителя, времени воздействия, типа и объемной формы используемой биомассы. Для предотвращения возгорания древесины автор предлагает использовать предварительный разогрев древесины до  $177^{\circ}\text{C}$  в зоне предварительного прогрева. Это обеспечивает поступление древесины в зону повышенной температуры с минимальным содержанием кислорода. Также на понижение содержания кислорода направлен технологический прием многократного чередования агрегатного состояния рабочей среды в последовательных технологических зонах: жидкая среда (ж/ср) - газовая среда (г/ср). Это также обеспечивает поэтапный отгон газообразных компонентов биомассы: вначале влаги, затем низкокалорийных легко летучих органических соединений, а затем калорийных газов, при этом эвакуация данных газообразных продуктов осуществляется по раздельным трубопроводам, что создает возможность их раздельной утилизации.

40 Автор вправе утверждать, что торрефикат, полученный по его технологии, сопоставим по теплотворности с каменным углем, даже не смотря на ускоренную торрефикацию (в диапазоне 15 минут). Повышение теплотворности торрефиката связано с пропиткой гранул жидким горючим теплоносителем, теплоемкость которого в 2,5 раза больше теплоемкости исходных гранул.

45 Помимо постоянного расхода горючей парафиновой жидкости, в технологии расходной статьей проходит часть готового торрефиката, постоянно сжигаемого для поддержания необходимой температуры теплоносителя в зоне торрефикации, даже при наличии системы рекуперации. В целом технологическую линию по приведенному аналогу можно оценить как несбалансированную в энергетическом отношении систему: с одной стороны используют в удаленном нагревателе торрефикат для поддержания

температуры теплоносителя, а с другой - сжигают отходящие калорийные газы в факеле системы эвакуации газового продукта.

Сложность производственной системы в сочетании с высокими капитальными и эксплуатационными затратами помешали практическому коммерческому использованию технологии по вышеуказанному изобретению.

Наиболее близким к предполагаемому изобретению по технической сущности, как в отношении способа торрефикации, так и в отношении конструктивно-технологического решения установки для реализации предлагаемого способа, является патент Канады СА №2812777 «Установка для торрефикации биомассы и реализуемый способ» (приоритет США - 08.10.2010; заявка US №20100391442 P; заявитель - «TEAL SALES INCORPORATED»)). На данное решение выдано множество патентов в различных странах мира, в том числе евразийский патент ЕА №026196 (заявка ЕА №201390492). Приведенный выше патент Канады выбран за прототип.

Сущность способа торрефикации по прототипу заключается в следующем: частицы биомассы вводят во вращающийся барабанный реактор, имеющий рабочую газовую среду с низким содержанием кислорода. Частицы транспортируются через барабан потоком нагретого газа и одновременно подвергаются торрефикации этим же газом. Газ, выходящий из барабана, вовлекают в рециркуляцию путем его подачи в источник тепла для повторного нагревания перед повторным введением в барабан. Процесс торрефикации непрерывный с непрерывной подачей частиц биомассы и нагретого газа, поступающего в барабан реактора с температурой, по меньшей мере, 260°C (п. 37 формулы изобретения).

В зависимом пункте формулы изобретения (п. 36) перед введением в барабанный реактор предусмотрена предварительная сушка частиц биомассы до влажности ниже 20% по сырому весу.

Установка для реализации способа по прототипу включает устройство для осуществления процесса торрефикации в виде вращающегося барабанного реактора, снабженного впускным каналом для непрерывного приема частиц биомассы и оснащенного множеством лопастей, расположенных по всей внутренней поверхности барабана. Также установка включает источник тепла для нагрева газа, циркулирующего в рабочем пространстве установки, выполненный в виде отдельного устройства, предназначенного для постоянного генерирования основного тепла для повторного нагрева, по меньшей мере, части газового потока, выходящего из барабана реактора и повторно направляемого в реактор, при этом источник тепла расположен выше по потоку относительно барабанного реактора. Установка снабжена вентиляторным устройством для создания непрерывного потока нагретого газа, направляемого в барабан реактора, причем вентиляторное устройство должно быть достаточно мощным, так как необходимо обеспечить не только циркуляцию газового потока, но и непрерывную транспортировку частиц биомассы в условиях, когда частицы биомассы поднимаются лопастями и вбрасываются в поток нагретого газа при вращении барабанного реактора. Работоспособность установки обеспечивает система газотранспортных каналов, соединяющих, по меньшей мере, барабанный реактор, источник тепла и вентиляторное устройство. Установка включает систему вывода отработанных газов, выполненную с возможностью возврата, по меньшей мере, их части в реактор, и снабженную регулировочными вентилями и заслонками, причем регулировочные ventили и заслонки предназначены и для регулирования уровня давления внутри системы с целью подавления просачивания кислорода. Но основное назначение системы вывода - обеспечение беспрепятственной эвакуации отходящих



газов.

Установка дополнительно включает трубопровод для направления отходящих газов в удаленное устройство для их использования во вспомогательном или дополнительном процессах.

5 Для герметизации барабанного реактора узел загрузки частиц биомассы снабжен шлюзовой камерой, кроме того барабанный реактор снабжен также, по меньшей мере, одним герметизирующим устройством, расположенным за барабанным реактором и предупреждающим подсосы воздуха в процессе непрерывной выгрузки торрефиката, причем герметизирующее устройство соединено с источником инертного газа.

10 В зависимых пунктах формулы изобретения предусматривается использование различных типов источников тепла, а именно: или канальный электрический нагреватель погружного типа (п. 11 формулы); или конвективный теплообменник, выполненный с возможностью передачи тепла от нагретого газа, изолированного от основного газового потока, циркулирующего в барабанном реакторе (п. 12 формулы); или горелочное  
15 устройство для нагрева рабочего потока газа (п. 9, 13 формулы).

В зависимом пункте 14 предусмотрено дополнительное оснащение установки парогенераторным устройством для введения пара в барабанный реактор с целью интенсификации процесса торрефикации.

Установка снабжена системой управления вентиляторным устройством, системой  
20 регулировки скорости вращения барабанного реактора, системой регулировки температуры циркулирующего газового потока, системой настройки параметров газового потока (объем, скорость, давление). Для обеспечения эксплуатационной стабильности торрефикации необходимо постоянно контролировать, по меньшей мере, температуру на входе и выходе из барабанного реактора, время пребывания частиц  
25 биомассы в реакторе и содержание кислорода в потоке нагретого воздуха.

При возникновении внутри барабанного реактора интенсивного горения биомассы в установке предусмотрен воздушный клапан, выполненный с возможностью охлаждения наружной средой.

Рассмотрим установку по прототипу, во-первых, с точки зрения ее технологичности,  
30 а, во-вторых, с точки зрения ее особенностей конструктивного решения:

1. Даже при наличии сложной системы контроля и управления процессом торрефикации сами авторы допускают возможность перехода стадии торрефикации биомассы в стадию ее активного горения в барабанном реакторе. При непрерывной подаче частиц биомассы устранение такой аварийной ситуации является достаточно  
35 сложным и требует значительного времени и затрат.

Вероятность развития горения биомассы в реакторе, в значительной мере обусловлена формой загрузки сырья, а именно загрузкой измельченной биомассы. Известно, что при длительном нагреве, например древесины, в связи с возможностью образования ультрамелкой сажи (пирофорного угля) на ее поверхности, может наблюдаться  
40 самовоспламенение уже при 140°C.

И даже ограничение по крупности частиц при загрузке «от 1/16 кубического дюйма до около одного кубического дюйма» (п. 40 формулы) проблему накопления взрывоопасной мелочи (пыли) не решает.

2. Непрерывность загрузки биомассы не позволяет вести технологический процесс  
45 в энергетически сбалансированном режиме с эффективным использованием тепла летучих органических соединений, отгоняемых из торрефицируемой массы.

Известно, что, например, для древесины процесс термомодифицирования (торрефикации) при температуре до 150°C характеризуется стадией отгона большей

части влаги и разложением наименее стойких компонентов древесины (например, луминовых кислот), когда выделяются, в основном, негорючие газы и пары -  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Вместе с тем имеется сравнительно небольшое количество горючих газов и паров, например монооксида углерода -  $\text{CO}$ . Отсюда вывод - летучие продукты древесины начальной стадии термомодифицирования не представляют никакой ценности с энергетической точки зрения, являясь балластом, и рационально максимально выводить первоначальный газовый отгон из процесса, так как он лишь тормозит процесс дальнейшего развития термомодифицирования. В условиях непрерывной подачи биомассы в реактор контролировать и управлять стадиями модифицирования не возможно, поэтому на дожиг в источник тепла поступает смесь низкокалорийных и высококалорийных газов, в связи с чем тепло, получаемое от дожига газообразного отгона биомассы, не может рассматриваться как основной источник технологического тепла для обеспечения непрерывной работы реактора. Технологическое тепло обеспечивается за счет постоянного сжигания топлива, вид которого определяется типом печи (по тексту, называемой источником тепла).

3. Риск развития горения биомассы в реакторе также связан с высокой вероятностью попадания кислорода в зону торрефикации в условиях непрерывной загрузки-выгрузки биомассы, а также возвратом в рабочую зону кислорода с циркулирующим газом, непрерывно включающим в себя отгон начальной стадии термомодифицирования.

4. Вышеперечисленные технологические недостатки процесса торрефикации по прототипу привели к значительному конструктивному усложнению установки по прототипу, а именно: применение многочисленных узлов герметизации, сложной системы контроля, системы предохранительных клапанов и т.д. Также, установка предусматривает наличие разветвленной системы газопроводов, расположенных в окружающей среде за пределами тепловых аппаратов, что вызывает значительные тепловые потери.

5. Установка по прототипу не работоспособна без постоянной подачи основного количества технологического тепла от стороннего носителя, а значит, как с экологической, так и экономической современных позиций установка не эффективна.

6. Таким образом, установка по прототипу априори не может эффективно работать в промышленных масштабах и выдавать продукцию приемлемой себестоимости и качества.

Технической задачей предлагаемого изобретения является создание способа торрефикации биомассы и установки для реализации данного способа, соответствующими требованиям промышленной применимости современного уровня, как по технологическим, экономическим, экологическим характеристикам, так и по характеристикам качества получаемой продукции. Предлагаемый способ прост в реализации, малозатратен в энергетическом, эксплуатационном и финансовом отношении. Промышленная установка для реализации данного способа конструктивно проста и надежна, не требует значительных капитальных затрат, а ее монтаж и эксплуатация одинаково эффективны и экологичны, как в населенных, так и в отдаленных районах.

Технический результат, достигаемый при использовании предлагаемой промышленной установки заключается в реализации технологии торрефикации биомассы с максимальным использованием энергии газов торрефикации. Низкие капитальные затраты и минимальные затраты при эксплуатации предлагаемой промышленной установки позволяют получать торрефикат с приемлемо низкой себестоимостью, высоким качеством при выходе торрефиката до 90% от загрузки (снижение данного

показателя допустимо и связано с исходной влажностью сырья загрузки).

Технический результат достигается тем, что в способе торрефикации биомассы древесного происхождения, осуществляемом в интервале температур, соответствующих эндотермическому периоду терморазложения древесины, конвективной теплопередачей в режиме циркуляции газообразного теплового потока, на торрефикацию направляют формованную биомассу партиями, причем нагрев циркулирующего газообразного теплового потока осуществляют теплом газопроницаемого рекуперативного теплообменника, нагрев которого осуществляют горячими газами, являющимися, продуктом сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации, при этом температуру циркулирующего газообразного теплового потока поддерживают в диапазоне  $200^{\circ}\text{C}\div 270^{\circ}\text{C}$ , а температуру газообразных продуктов сжигания летучих органических соединений на входе в рекуператор поддерживают в диапазоне  $400^{\circ}\text{C}\div 700^{\circ}\text{C}$ . При этом рабочее пространство установки перед загрузкой биомассы нагревают до температуры не ниже  $200^{\circ}\text{C}$ , а на торрефикацию направляют биомассу с влажностью, предпочтительно, ниже 12%, причем формованную биомассу подают на торрефикацию в переносных термостойких конструкциях, позволяющих стационарно и равномерно распределять формованную биомассу в пространстве торрефикационной камеры, а при выгрузке-загрузке очередной партии биомассы снижают скорость циркулирующего газообразного теплового потока, предпочтительно до полной остановки. Способ торрефикации биомассы осуществляют, предпочтительно, до начала экзотермических процессов: для древесины температурный режим торрефикации варьируют в широком диапазоне  $200^{\circ}\text{C}\div 270^{\circ}\text{C}$ . При этом, температуру продуктов сжигания летучих органических соединений на выходе из системы нагрева рекуперативного теплообменника поддерживают, предпочтительно, ниже  $300^{\circ}\text{C}$ , поэтому в способе рекомендуют направлять продукты сжигания летучих органических соединений на хозяйственные нужды, например, для обогрева сторонних объектов, причем возможен выброс напрямую в атмосферу, так как продукты сжигания летучих органических соединений на выходе из установки не являются экологически опасными.

Для реализации заявляемого способа торрефикации формованной биомассы древесного происхождения предлагается установка, включающая устройство для осуществления процесса торрефикации, снабженное входом для приема биомассы; источник тепла для нагрева газа, циркулирующего в рабочем пространстве установки; вентиляторное устройство для создания циркулирующего потока нагретого газа, направляемого в устройство для торрефикации; газотранспортные каналы, соединяющие устройство для торрефикации, источник тепла и вентиляторное устройство; систему вывода отработанных газов, при этом устройство для осуществления процесса торрефикации выполнено в виде стационарной пустотелой камеры, оснащенной узлом периодической загрузки-выгрузки биомассы, выполненным в виде дверного проема, расположенного в начале торрефикационной камеры по ходу газового потока, причем на торрефикацию направляют формованную биомассу; источник тепла для нагрева циркулирующего газа выполнен в виде стационарного газопроницаемого многоканального рекуператора с высокоразвитой поверхностью конвективного теплообмена из жаростойкого материала; вентиляторное устройство снабжено мощным жаростойким вентилятором, расположенным между торрефикационной камерой и газопроницаемым рекуператором по ходу циркулирующего теплового газового потока; система вывода отработанных газов снабжена печью для сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации, расположенной за

вентиляторным устройством по ходу циркулирующего теплового газового потока, причем система вывода продуктов сжигания летучих органических соединений проходит через тело рекуператора и выполнена в виде разветвленной системы труб, выходящих на дымовую трубу. Причем стационарный рекуператор выполнен из жаростойкого материала, весовая масса которого превышает вес загружаемой единичной партии биомассы не менее, чем в 15÷25 раз. При этом узел периодической загрузки-выгрузки биомассы снабжен переносными термостойкими конструкциями, предназначенными для равномерного распределения биомассы в пространстве торрефикационной камеры, и выполнен с возможностью горизонтального их перемещения. Для снижения теплотерь и поступления атмосферного воздуха в рабочее пространство установки дверной проем для периодической загрузки-выгрузки биомассы снабжен подвижным экранирующим средством защиты. Как один из способов управления процессом торрефикации предлагается вентиляторное устройство снабдить устройством для регулирования скорости газового потока, циркулирующего в рабочем пространстве установки. Для управления процессом торрефикации, осуществляемым в режиме систематически повторяющихся перегрузов сырья, в установке также предлагают газотранспортный канал, расположенный по ходу циркулирующего теплового газового потока между рекуператором и торрефикационной камерой, снабдить устройством для временного прерывания поступления газового потока в торрефикационную камеру, выполненным, например, в виде шиберов. Печь для сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации, предлагают выполнить, например, в виде топки, оснащенной системой газовых форсунок, направленных в зону горения через ложное днище, выполненное, например, в виде перфорированного днища, при этом систему вывода отработанных газов предлагают выполнить с возможностью направления горячих отработанных газов во вспомогательные или дополнительные устройства для утилизации тепла отходящих отработанных газов.

Техническая сущность предлагаемого технического решения заключается в следующем.

1. Известно, что при торрефикации 1 м древесины образуется 20÷30 м<sup>3</sup> неконденсирующихся газов приблизительно следующего состава:

- диоксид углерода CO<sub>2</sub> (примерно 45÷55%);
- оксид углерода CO (28÷32%);
- водород H<sub>2</sub> (1÷2%);
- метан CH<sub>4</sub> (8÷21%);
- другие углеводороды (1,5÷3%).

Также известна теплотворная способность вышеперечисленных газов. Приведем наиболее теплеемкие:

- водород H<sub>2</sub>-120 МДж/м<sup>3</sup>;
- метан CH<sub>4</sub>-50 МДж/м<sup>3</sup>.

В целом, для древесины теплота сгорания газообразных продуктов, являющихся отгоном торрефикации, может достигать 15 МДж/м<sup>3</sup>.

Отсюда возникает логичная задача - каким образом использовать в качестве топлива для торрефикации биомассы ее собственный энергетический ресурс? При этом необходимо принять во внимание, что энергетическая емкость газового отгона непостоянна во времени и достигает максимального значения при температурах выше 150°С.

2. Автор предлагает решить поставленную задачу оптимизацией физико-химических процессов, протекающих в предлагаемой промышленной установке, за счет пространственного разделения рабочего пространства установки на три основные технологические зоны: зону непосредственной торрефикации с характерными для нее, в основном, эндотермическими процессами, зону протекания экзотермических процессов, связанных со сжиганием газов, отгоняемых из биомассы, и зону рекуператора, аккумулирующего тепло продуктов сжигания отгоняемых газов торрефикации.

Наличие мощного рекуператора является гарантом стабильности протекания процесса торрефикации даже при работе установки в режиме систематически повторяющейся загрузки-выгрузки биомассы партиями, то есть в условиях циклического изменения технологических параметров в торрефикационной камере, что является нормальным течением технологии. Мощность рекуператора определяется с одной стороны, его способностью максимально поглощать тепло продуктов сжигания отгоняемых торрефикационных газов, а с другой - способностью эффективной передачи тепла циркулирующему в рабочем пространстве газовому потоку. Реализация стабилизирующей функции рекуператора возможна лишь при постоянной подпитке его определенным количеством тепловой энергии, аккумулированной от продуктов сжигания отгоняемых газов торрефикации.

Конструктивно рекуператор представляет из себя стационарный газопроницаемый многоканальный теплообменник с высокоразвитой поверхностью конвективного теплообмена, выполненный из жаростойкого материала, причем весовая масса данного материала превышает вес загружаемой единичной партии биомассы не менее, чем в 15÷25 раз, что и обеспечивает достижение значительной поверхности конвективного теплообмена для циркулирующего в рабочем пространстве газового потока.

Как указывалось выше, в предлагаемом техническом решении источником подпитывающей тепловой энергии, обеспечивающей стабильную работу установки, являются, в основном, продукты сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации и сжигаемых в специальной печи. Максимальный съем тепла от отгоняемых продуктов сжигания обеспечивает наличие в теле рекуператора разветвленной системы труб с развитой поверхностью теплообмена.

Пространственное разделение зоны эндотермических процессов и зоны экзотермических процессов также предупреждает в торрефикационной камере даже локальное увеличение температуры выше температуры начала выгорания высококалорийных углеводов биомассы, что и повышает калорийность конечного торрефиката.

Формирование из отгоняемых газов торрефикации двух газовых потоков, один из которых направляется на циркуляцию в рабочее пространство установки торрефикации, а второй - на получение подпитывающего рекуператор тепла, возможно лишь при наличии мощного вентиляторного устройства. Вентиляторное устройство установки позволяет регулировать скоростью газового потока в рабочем пространстве, полноту сгорания калорийного углеводородного отгона, то есть регулировать тепловую стабильность накопителя: охлаждается - снизить скорость, повышается-увеличить скорость эвакуации газов.

3. Для обеспечения эффективной и непрерывной работы предлагаемой автором установки торрефикации необходимо соблюдение энергетического баланса прихода и расхода технологического тепла, а именно:

$$Q_{\text{экз}}=K_1 (Q_{\text{энд}}+Q_{\text{отх/г}}+Q_{\text{б/п}}), \text{ где:}$$

$Q_{\text{экз}}$  - тепло, аккумулированное рекуператором от разовой партии загрузки биомассы,

то есть тепло от сгорания ЛОС, выделяемых при торрефикации разовой партии загрузки биомассы;

$Q_{\text{энд}}$  - тепло, расходуемое непосредственно на торрефикацию разовой партии загрузки биомассы;

5  $Q_{\text{отх/г}}$  - тепло, теряемое с отходящими газами;

$Q_{\text{б/п}}$  - безвозвратные потери тепла, связанные как с технологическими особенностями ведения конкретного процесса торрефикации, так и с особенностями конкретного технологического оборудования;

10  $K_1$  - повышающий поправочный коэффициент, величина которого обусловлена степенью риска нарушения энергетического баланса. Может колебаться в широких пределах, но, как правило, в пределах  $K_1=1,5\div 2$ .

Эндотермические процессы, протекающие в клетках древесины, изменяют молекулярную структуру и химический состав клеток древесины, но при этом продуцируют лишь отгон летучих органических соединений с низкой калорийностью. 15 Для отгона калорийных углеводов в необходимом контролируемом количестве, обеспечивающем поддержание энергетического баланса внутри установки, древесная биомасса подвергается частичной газификации, при которой древесина претерпевает химические и структурные изменения более высокого уровня, в результате чего 20 получается древесина с более высоким процентным содержанием углерода, более высокой теплоемкостью и практическим отсутствием некалорийных ЛОС. Глубина газификации рассчитывается для каждого конкретного случая, с учетом мощности установки и качества перерабатываемой биомассы.

Гарантировать и управлять энергетическим балансом процесса торрефикации, с точки зрения автора, можно лишь при загрузке торрефицируемой формованной 25 биомассы партиями определенного объема, предварительно рассчитанного, исходя из производственной мощности установки.

Таким образом, режим работы предлагаемой установки можно характеризовать, как режим совмещения непрерывности и периодичности (цикличности): непрерывности 30 с точки зрения готовности установки к работе (установка непрерывно находится в рабочем режиме), и периодичности (цикличности) с точки зрения загрузки-выгрузки партий формованной биомассы.

4. Цикличность в загрузке-выгрузке отдельных партий, а также конструктивное решение с пространственным разделением зоны отгона и зоны горения ЛОС, позволяет 35 вести процесс торрефикации в наиболее энергетически эффективном режиме.

5. Летучие органические соединения (ЛОС) горят намного интенсивнее в условиях отсутствия влаги, поэтому целесообразно паро-газовый отгон из биомассы, образующийся на начальном этапе торрефикации, максимально удалять из рабочего пространства установки, что обеспечивает дальнейшее течение процесса торрефикации 40 в условиях газовой среды с меньшим содержанием влаги и кислорода, что исключает в торрефикационной камере даже локальное гетерогенное горение (тление) торрефиката и гомогенное горение паро-газовых продуктов терморазложения, непрерывно выходящих через трещины и структурные поры нижележащих слоев древесины.

Указанный выше интенсивный вывод паро-газового отгона на начальном этапе торрефикации очередной партии формованной биомассы тем более целесообразен, 45 если принять во внимание то факт, что, чем ниже влажность биомассы, тем ниже температура ее торрефикации.

6. Общеизвестный факт, что самая сложная задача, с которой сталкиваются инженеры, проектирующие торрефикационные реакторы, заключается в обеспечении

регулируемого процесса с предсказуемым результатом, как в плане производительности, так и в плане качественных характеристик получаемого торрефиката. Решением этой задачи уже несколько лет с переменным успехом занимается целый ряд компаний.

Предлагаемый способ и установка для его реализации позволяют решить эту задачу. При этом способ позволяет вести процесс практически в режиме саморегулирования с минимальным вмешательством обслуживающего персонала.

Отсюда, потенциальное значение предлагаемого способа торрефикации, как для российской, так и для мировой биотопливной промышленности трудно переоценить. Новая технология должна существенно расширить географию эффективного и рентабельного производства формованного торрефиката и в разы увеличить сырьевую базу будущих производителей биотоплива.

Для проведения сравнительного анализа заявляемого технического решения с решением по прототипу (патент Канады СА №2812777 «Установка для торрефикации биомассы и реализуемый способ») использовалась информация, приведенная в разделе предлагаемого описания «Анализ и критика прототипа», где подробно указаны основные существенные недостатки установки и способа, как в части конструктивно-аппаратурного решения, так и в части технологических приемов, являющихся следствием конструктивно-аппаратурного решения, а также информация, предлагаемая в разделе описания «Техническая сущность заявляемого технического решения». Сравнительный анализ указанной выше информации позволяет объективно и доказательно сделать вывод о соответствии заявляемого решения критерию патентоспособности «новизна».

В результате поиска информации по патентным и другим техническим источникам не выявлены технические решения, характеризующиеся аналогичной с предлагаемым решением совокупностью признаков, обеспечивающих достижение аналогичных результатов, что позволяет сделать вывод о соответствии предлагаемого технического решения критерию патентоспособности «изобретательский уровень». Отличительные признаки, указанные в формуле изобретения, явно не следуют из современного уровня техники, что также свидетельствует о соответствии критерию патентоспособности «изобретательский уровень».

В заявляемом техническом решении промышленного способа производства торрефиката новая совокупность известных и неизвестных признаков, отличающаяся как технической сущностью признаков, так и их последовательностью и взаимосвязью, обеспечивает достижение технического результата более высокого, по сравнению с известными, уровня.

Сущность технического решения, заложенного в основу предлагаемого способа торрефикации биомассы, поясняется принципиальной схемой установки для реализации данного способа, изображенной на фиг. 1 (вид сверху, продольный разрез). Изображение на фиг. 1 необходимо рассматривать, как вариант конструкторского выполнения установки, позволяющий более наглядно отразить сущность заявляемого технического решения. Если на фиг. 1 торрефикационная камера и стационарный газопроницаемый многоканальный рекуператор размещены в разных производственных помещениях, разделенных атмосферой, то это не исключает вариант размещения торрефикационной камеры и рекуператора в едином производственном помещении. Тот или иной вариант конструкторского решения производственного помещения в целом не является решающим условием для реализации заявляемого способа: обязательным является соблюдение последовательности и взаимосвязи отдельных устройств, указанных в формуле изобретения. Именно эта последовательность и взаимосвязь обеспечивает достижение заявленного технического результата.

На фиг. 1 представлено графическое изображение установки для реализации заявляемого способа торрефикации, включающее принципиально важные конструктивно-технологические узлы в их совокупной последовательности (указаны в независимом пункте 10 формулы изобретения). Отдельные узлы, заявленные в зависимых пунктах формулы 11÷17, отражены на фиг. 1 схематично без конкретизации конструкторского решения, что связано с многочисленностью вариантов конструкторских решений. Выбор конкретного варианта определяется возможностями и требованиями конкретного потенциального производителя. Важно заметить, что при выборе того или иного варианта конструкторского исполнения отдельных узлов (п. 10 11÷17 формулы) должно быть выполнено главное требование - обеспечение работоспособности установки с достижением поставленных технико-экономических и экологических задач.

Установка для торрефикации биомассы включает устройство для непосредственного осуществления процесса торрефикации, выполненного в виде стационарной пустотелой камеры 1, размещенной в термоизолированном корпусе 2 (пунктиром в камере торрефикации 1 выделена зона размещения биомассы). Для периодической загрузки-выгрузки очередной партии биомассы в начале торрефикационной камеры по ходу газового потока выполнен дверной проем 3. Переносные термостойкие конструкции, указанные в п. 11 формулы изобретения и предназначенные для равномерного распределения биомассы в пространстве торрефикационной камеры 1, на фиг. 1 не представлены в силу большого разнообразия существующих решений в области вмещающих конструкций, перемещаемых в горизонтальной плоскости. Особенности конструкций, выбираемых в каждом конкретном случае, зависят от объемной формы загружаемой формованной биомассы. Например, для «евродров» в форме цилиндрических брикетов наиболее технологична конструкция в виде вертикальной стойки с множеством фиксирующих стержней. На ход технологии торрефикации способ загрузки-выгрузки биомассы, будь то возвратно-поступательное перемещение вмещающих конструкций или другой способ загрузки, влияния не оказывает. Тот или иной выбор определяется возможностями и требованиями производителя торрефиката. Не имеет принципиального значения и наличие или отсутствие подвижного экранирующего средства защиты от теплопотерь и поступления (подсоса) атмосферного воздуха на дверном проеме 3, указанного в п. 13 формулы изобретения. Наличие на дверном проеме теплового экрана лишь повышает энергетическую эффективность установки в целом. Поэтому данный экранирующий элемент на фиг. 1 не отражен.

Источник тепла для нагрева циркулирующего газа выполнен в виде стационарного газопроницаемого многоканального рекуператора 4 с высокоразвитой поверхностью конвективного теплообмена из жаростойкого материала, весовая масса которого превышает вес загружаемой единичной партии биомассы не менее, чем в 15÷25 раз. Конфигурация кладки жаростойкого кирпича и его объем определяются в процессе проектирования конкретной установки под конкретную ее производительность и конкретный вид и форму планируемой к переработке биомассы. Рекуператор размещен в термоизолированном корпусе 5, связанном с корпусом 2 двумя газотранспортными каналами 6 и 7.

Наличие мощного рекуператора с высокоразвитой поверхностью теплообмена гарантирует стабильность технологии торрефикации даже при работе установки в режиме систематически повторяющейся загрузки-выгрузки партий биомассы, то есть в условиях циклического изменения технологических параметров в торрефикационной камере, что предусмотрено нормальным течением технологии. Реализация



стабилизирующей функции рекуператора возможна лишь при постоянной подпитке его определенным количеством тепловой энергии. В предлагаемом техническом решении источником подпитывающей тепловой энергии являются продукты сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации. В конструкции газотранспортного канала 6 предусмотрено формирование из отгоняемых газов торрефикации двух газовых потоков: один поток направляется на циркуляцию в рабочее пространство установки, а второй - по патрубку 8 в печь 9 для сжигания летучих органических соединений, входящих в состав отгоняемых газов торрефикации. Графическое изображение печи 9, представленное на фиг. 1, необходимо рассматривать как принципиальную схему, обеспечивающую решение поставленной технологической задачи - получение подпитывающего тепла за счет максимально эффективного сжигания летучих органических соединений. Для повышения эффективности сжигания предлагается общий газовый поток, поступающий по патрубку 8, системой газовых форсунок 10 разбивать на отдельные потоки, которые более равномерно через ложное днище 11, выполненное, например, в виде перфорированного днища, поступают в топку 12. Приведенная конструкция печи 9 не является принципиальным требованием, необходимым для реализации заявляемого способа торрефикации. В каждом конкретном случае проектирования заявляемой установки выбор конструкции печи 9 является решением конструкторской целесообразности.

Продукты сжигания летучих органических соединений из топки 12 по трубопроводу 13 направляются в разветвленную систему труб 14, проходящих через тело рекуператора 4, и выходящих на дымовую трубу 15. Через стенки труб конвективной теплопередачей рекуператор 4 аккумулирует тепло, необходимое для бесперебойной работы установки в условиях периодичности загрузки биомассы.

Формирование из отгоняемых газов торрефикации двух газовых потоков, один из которых направляется на циркуляцию в рабочее пространство установки торрефикации, а второй - на получение подпитывающего рекуператор тепла, возможно лишь при наличии мощного вентиляторного устройства. В газотранспортном канале 6 установлено вентиляторное устройство 16 в виде мощного жаростойкого вентилятора, например, осевого канального типа, функционально соответствующего представленному на фиг. 1 варианту исполнения установки. Как указано в п. 14 формулы изобретения вентиляторное устройство снабжено устройством для регулирования скорости газового потока, циркулирующего в рабочем пространстве установки, вплоть до полного прекращения его циркуляции. Правильный выбор типа и мощности вентилятора обеспечивает качественный ход торрефикации с возможностью быстрого и эффективного управления процессом.

Газотранспортный канал 7, расположенный между рекуператором 4 и торрефикационной камерой 1, снабжен устройством для временного прерывания поступления газового потока в торрефикационную камеру, выполненным, например, в виде шиберов 17. Наличие шиберов позволяет в период загрузки-выгрузки очередной партии биомассы максимально сохранить тепло, аккумулированное в рекуператоре 4.

Отходящие из дымовой трубы 15 отработанные газы обладают достаточной энергоемкостью и могут быть использованы для различных промышленных и хозяйственных целей, что зафиксировано в п. 17 формулы изобретения. Направление использования определяется каждым конкретным производителем торрефиката.

Установка работает следующим образом.

Вначале осуществляют предпусковую подготовку с выводом установки на необходимый пусковой температурный режим. В п. 2 формулы изобретения указано,

что рабочее пространство установки перед загрузкой первой партии биомассы нагревают до температуры не ниже 200°C. Предварительный нагрев может осуществляться различными способами и различными подвижными теплонагревателями. Но можно применять и простейший способ, а именно: сжигание в пределах камеры торрефикации 1 необходимого объема древесного угля, размещенного, например, элементарно в мешки. В предпусковой период внутреннее рабочее пространство установки равномерно прогревают, что обеспечивается работающим вентилятором 16 при открытом шибере 17. При закрытом шибере 17 и отключенном вентиляторе 16 через дверной проем 3 осуществляют горизонтальную загрузку переносных термостойких конструкций, заполненных биомассой, в зону торрефикации 1. После загрузки шибер 17 открывают и включают вентилятор 16. Длительность процесса торрефикации зависит от типа исходной биомассы и его объемной формы, но, как правило, не превышает полутора часов. Поскольку торрефикация - это процесс теплового воздействия на растительное сырье в бескислородной среде при температуре, когда протекают преимущественно эндотермические реакции, превращающие, например древесину в обожженную древесину, то производитель заинтересован заканчивать процесс торрефикации с достижением максимального удаления влаги при максимальном сохранении летучих калорийных органических углеводов, наличие которых в торрефицированной биомассе повышает ее теплотворность. Предлагаемый способ позволяет определить время завершения торрефикации визуально по характеру (цвету) отходящих газов.

В настоящее время предлагаемый способ торрефикации биомассы прошел успешные полупромышленные испытания на установке, принципиальная схема которой изображена на фиг. 1. Проектная производительность установки по загрузке равна одной тонне биомассы в форме брикета, а фактически достигнутая производительность по торрефикату - 0,6 т/час. Выход торрефиката достигает 90% от загрузки, то есть при квалифицированном ведении процесса торрефикации выход готового продукта приближен к теоретически возможному.

Испытания доказали промышленную применимость и осуществимость заявляемого способа торрефикации биомассы. Был достигнут заявленный выше технический результат: получение торрефиката в значительной степени за счет использования энергии газов торрефикации. Низкие капитальные затраты и минимальные затраты при эксплуатации установки позволяют получать торрефикат с приемлемо низкой себестоимостью, обеспечивающей рентабельность производства даже в европейских ценах, с высоким качеством при выходе торрефиката до 90% от загрузки (снижение данного показателя допустимо и связано с исходной влажностью сырья загрузки).

Принимая во внимание все вышесказанное, можно рекомендовать предлагаемый способ торрефикации биомассы, реализуемый на предлагаемой установке, для промышленного использования, причем в широком диапазоне производительности и для производителей, использующих биомассу с европейским уровнем цен.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ торрефикации биомассы древесного происхождения, осуществляемый в интервале температур, соответствующих эндотермическому периоду терморазложения древесины, конвективной теплопередачей в режиме циркуляции газообразного теплового потока, отличающийся тем, что на торрефикацию направляют формованную биомассу партиями, причем нагрев циркулирующего газообразного теплового потока осуществляют теплом газопроницаемого рекуперативного теплообменника, нагрев

которого осуществляют горячими газами, являющимися продуктом сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации, при этом температуру циркулирующего газообразного теплового потока поддерживают в диапазоне 200°C÷270°C, а температуру газообразных продуктов сжигания летучих органических соединений на входе в рекуператор поддерживают в диапазоне 400°C÷700°C.

2. Способ торрефикации биомассы по п. 1, отличающийся тем, что рабочее пространство установки перед загрузкой биомассы нагревают до температуры не ниже 200°C.

3. Способ торрефикации биомассы по п. 1, отличающийся тем, что на торрефикацию направляют биомассу с влажностью предпочтительно ниже 12%.

4. Способ торрефикации биомассы по п. 1, отличающийся тем, что формованную биомассу подают на торрефикацию в переносных термостойких конструкциях, позволяющих стационарно и равномерно распределять формованную биомассу в пространстве торрефикационной камеры.

5. Способ торрефикации биомассы по п. 1, отличающийся тем, что при выгрузке-загрузке очередной партии биомассы снижают скорость циркулирующего газообразного теплового потока, предпочтительно до полной остановки.

6. Способ торрефикации биомассы по п. 1, отличающийся тем, что торрефикацию биомассы осуществляют предпочтительно до начала экзотермических процессов.

7. Способ торрефикации биомассы по п. 1, отличающийся тем, что торрефикацию, например, древесины осуществляют в широком температурном диапазоне 200°C÷270°C.

8. Способ торрефикации биомассы по п. 1, отличающийся тем, что температуру продуктов сжигания летучих органических соединений на выходе из системы нагрева рекуперативного теплообменника поддерживают предпочтительно ниже 300°C.

9. Способ торрефикации биомассы по п. 8, отличающийся тем, что продукты сжигания летучих органических соединений направляют на хозяйственные нужды, например для обогрева сторонних объектов, или, как правило, напрямую в атмосферу.

10. Установка для торрефикации биомассы древесного происхождения, включающая устройство для осуществления процесса торрефикации, снабженное входом для приема биомассы; источник тепла для нагрева газа, циркулирующего в рабочем пространстве установки; вентиляторное устройство для создания циркулирующего потока нагретого газа, направляемого в устройство для торрефикации; газотранспортные каналы, соединяющие устройство для торрефикации, источник тепла и вентиляторное устройство; систему вывода отработанных газов, отличающаяся тем, что устройство для осуществления процесса торрефикации выполнено в виде стационарной пустотелой камеры, оснащенной узлом периодической загрузки-выгрузки биомассы, выполненным в виде дверного проема, расположенного в начале торрефикационной камеры по ходу газового потока, причем на торрефикацию направляют формованную биомассу; источник тепла для нагрева циркулирующего газа выполнен в виде стационарного газопроницаемого многоканального рекуператора с высокоразвитой поверхностью конвективного теплообмена из жаростойкого материала; вентиляторное устройство снабжено мощным жаростойким вентилятором, расположенным между торрефикационной камерой и газопроницаемым рекуператором по ходу циркулирующего теплового газового потока; система вывода отработанных газов снабжена печью для сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации, расположенной за вентиляторным устройством по ходу циркулирующего теплового газового потока, причем система вывода продуктов

сжигания летучих органических соединений проходит через тело рекуператора и выполнена в виде разветвленной системы труб, выходящих на дымовую трубу.

5 11. Установка для торрефикации биомассы по п. 10, отличающаяся тем, что узел периодической загрузки-выгрузки биомассы снабжен переносными термостойкими конструкциями, предназначенными для равномерного распределения биомассы в пространстве торрефикационной камеры, и выполнен с возможностью горизонтального их перемещения.

10 12. Установка для торрефикации биомассы по п. 10, отличающаяся тем, что стационарный рекуператор выполнен из жаростойкого материала, весовая масса которого превышает вес загружаемой единичной партии биомассы не менее чем в  $15 \div 25$  раз.

13. Установка для торрефикации биомассы по п. 10, отличающаяся тем, что дверной проем для периодической загрузки-выгрузки биомассы снабжен подвижным экранирующим средством защиты от теплопотерь и поступления атмосферного воздуха.

15 14. Установка для торрефикации биомассы по п. 10, отличающаяся тем, что вентиляторное устройство снабжено устройством для регулирования скорости газового потока, циркулирующего в рабочем пространстве установки.

15 15. Установка для торрефикации биомассы по п. 10, отличающаяся тем, что газотранспортный канал, расположенный по ходу циркулирующего теплового газового потока между рекуператором и торрефикационной камерой, снабжен устройством для временного прерывания поступления газового потока в торрефикационную камеру, выполненным, например, в виде шибер.

25 16. Установка для торрефикации биомассы по п. 10, отличающаяся тем, что печь для сжигания летучих органических соединений, отгоняемых из биомассы в процессе торрефикации, выполнена, например, в виде топки, оснащенной системой газовых форсунок, направленных в зону горения через ложное днище, выполненное, например, в виде перфорированного днища.

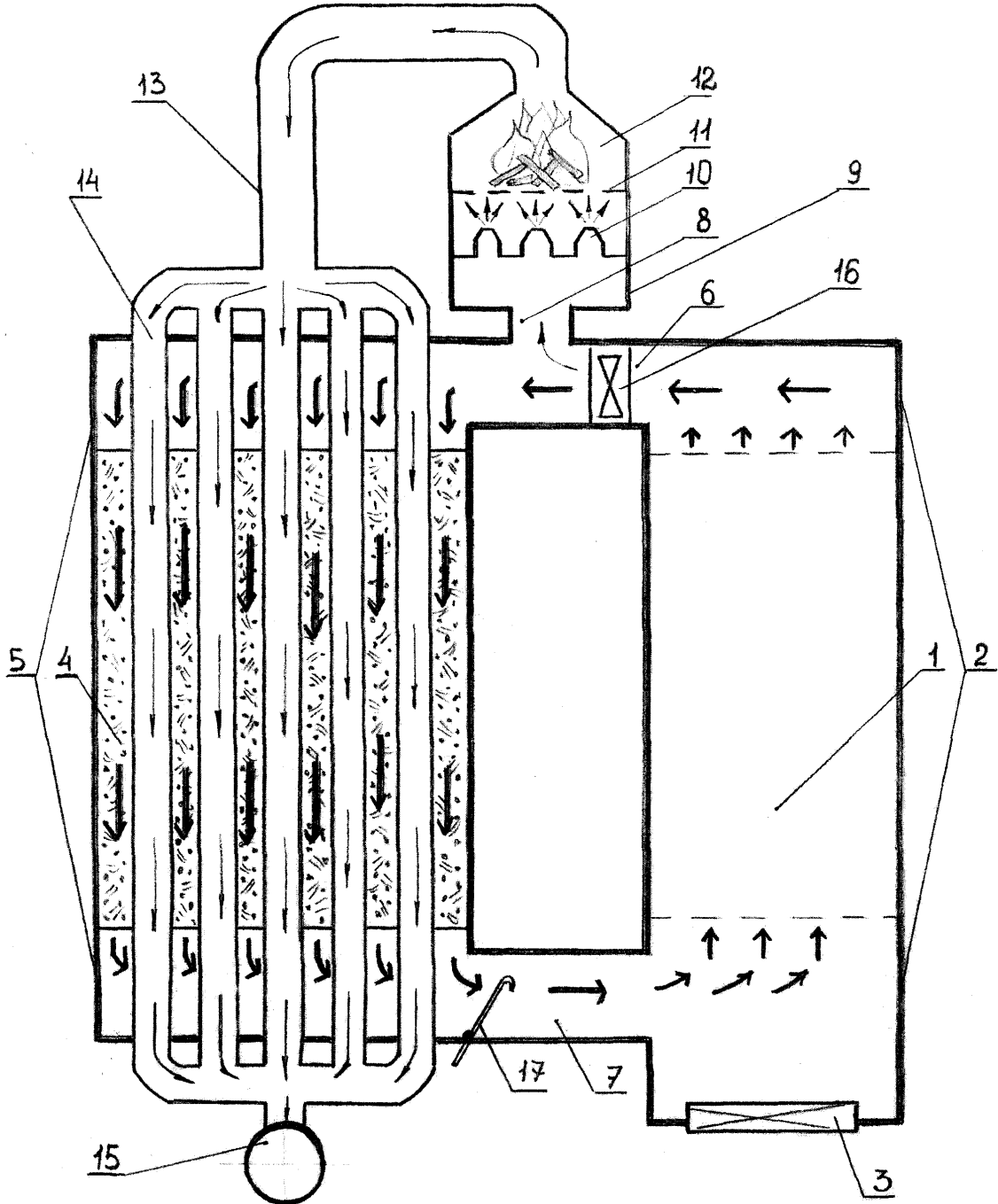
30 17. Установка для торрефикации биомассы по п. 10, отличающаяся тем, что система вывода отработанных газов выполнена с возможностью направления горячих отработанных газов во вспомогательные или дополнительные устройства для утилизации тепла отходящих отработанных газов.

35

40

45

(Принципиальная схема: вид сверху, продольный разрез)



ФИГ.1