

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044278**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.08.10

(21) Номер заявки
202292570

(22) Дата подачи заявки
2022.09.20

(51) Int. Cl. **C10B 49/10** (2006.01)
C10B 53/02 (2006.01)
F26B 3/04 (2006.01)

**(54) КОМПЛЕКС ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ
БИОМАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЧАРА, А ТАКЖЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

(43) 2023.08.09

(96) 2022000084 (RU) 2022.09.20

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "ТАМБОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ
ВО "ТГТУ"); ОБЩЕСТВО
С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ
МОНТАЖНО-НАЛАДОЧНОЕ**

**УПРАВЛЕНИЕ
"ВОСКРЕСЕНСКОЕ" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Михалев Александр Валерьевич,
Исьмин Рафаил Львович,
Милованов Олег Юрьевич, Кузьмин
Сергей Николаевич, Климов Дмитрий
Владимирович, Ковалерчик Михаил
Ефимович (RU)**

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(56) US-A1-2019055122
US-A1-2012266531
CN-A-104364366
EP-B1-2300574
RU-C2-2559491

(57) Изобретение относится к области сельскохозяйственного производства, коммунального хозяйства и энергетики, в частности к устройствам для гидротермальной карбонизации (влажной торрефикации) биомассы и биоотходов для получения биочара, а также для производства тепловой и электрической энергии. А именно, изобретение относится к комплексу для гидротермальной карбонизации биомассы, включающему: котел, выполненный с возможностью получения перегретого водяного пара с температурой от 200 до 350°C, сушилку для сушки исходной биомассы перегретым водяным паром, реактор для гидротермальной карбонизации биомассы перегретым водяным паром, где: между сушилкой и реактором для гидротермальной карбонизации биомассы установлена дробилка для измельчения высушенной биомассы, реактор для гидротермальной карбонизации биомассы представляет собой реактор с кипящим слоем, и реактор для гидротермальной карбонизации биомассы и сушилка для сушки исходной биомассы связаны трубопроводом для подачи потока отработанного перегретого пара из реактора для гидротермической карбонизации биомассы в сушилку для сушки исходной биомассы.

B1

044278

044278

B1

Область техники

Изобретение относится к области сельскохозяйственного производства, коммунального хозяйства и энергетики, в частности к устройствам для гидротермальной карбонизации (влажной торрефикации) биомассы и биоотходов для получения биочара (биоугля, гидрочара), а также для производства тепловой и электрической энергии.

Изобретение касается способов и устройств для гидротермальной обработки биомассы и биоотходов. К методам гидротермальной обработки биомассы в настоящем изобретении относятся: обработка биомассы в водной среде, находящейся под повышенным давлением и температурой, гидротермальная карбонизация биомассы в среде насыщенного водяного пара, находящегося под повышенным давлением, торрефикация биомассы в среде перегретого водяного пара.

Уровень техники

Биомасса широко используется как продукт питания или как возобновляемое сырье для производства энергии, а также как сырье для производства различных химических веществ и активированных углей. В последние годы такой метод обработки биомассы, как гидротермальная карбонизация, стал привлекать внимание исследователей, благодаря возможности получения твердого продукта, который называют биочар или гидрочар [Z. Liu, F.S. Zhang, Removal of lead from water using biochars prepared from hydrothermal liquefaction of biomass, *J. Hazard. Mater.* 167 (2009) 933-939, Z. Liu, F.S. Zhang, J. Wu, Characterization and application of chars produced from pinewood pyrolysis and hydrothermal treatment, *Fuel* 89 (2010) 510-514].

Гидротермальная обработка биомассы позволяет получить биочар с более высокой концентрацией кислородных функциональных групп и низкой степенью ароматизации, что делает биочар более пригодным для дальнейшей химической активации [M. Sevilla, A. Fuertes, R. Mokaya, High density hydrogen storage in superactivated carbons from hydrothermally carbonized renewable organic materials, *Energy Environ. Sci.* 4 (2011) 1400-1410, M. Sevilla, A. Fuertes, The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose, *Carbon* 47 (2009) 2281-2289].

Необходимо отметить, что применение гидротермальной обработки таких биоотходов, как птичий помет, свиной и коровий навоз позволяет получить из этих биоотходов органическое удобрение или улучшитель почвы. Причем, как показывают исследования [Isemin, R.; Mikhalev, A.; Milovanov, O.; Nebyvaev, A. Some Results of Poultry Litter Processing into a Fertilizer by the Wet Torrefaction Method in a Fluidized Bed. *Energies* 2022, 15, 2414], в результате гидротермической обработки рН смеси куриного помета и опилок снижается до значений близких к нейтральной (рН - 6,2 - 6,8), наиболее благоприятной для развития растений. Общее содержание азота в исходном сырье составляет 8-9%, причем 10-12% из них находится в легкоразлагаемой водорастворимой форме. О развитии микробиологических процессов, обусловленных действием бактерий-нитрификаторов, свидетельствует наличие нитратов в сырье (958 мг/кг). Гидротермальная обработка ведет к резкому снижению содержания водорастворимых легкоразлагаемых форм азота и отсутствию неприятного запаха у образцов (переход легкоразлагаемых форм азота в почву опасен для развития растений и этот факт является препятствием для использования куриного помета как удобрения). Следует отметить, что после гидротермальной обработки соотношение азота - фосфора - калия в смеси куриного помета и опилок становится более сбалансированным (соответственно 8 - 4 - 3). При этом замедляется скорость разложения азотосодержащих соединений, а подвижность фосфора возрастает.

В патенте РФ № RU 2701537 C1 предложен комплекс оборудования для переработки органических продуктов или отходов, включающий необязательное устройство для удаления примесей из органических отходов, необязательное устройство для измельчения органических побочных продуктов, расположенное ниже по потоку относительно необязательного устройства для удаления примесей, устройство для преобразования органических продуктов или отходов в переработанные продукты в виде биочара и технологической воды в процессе гидротермальной обработки, расположенное ниже потоку относительно необязательного устройства для удаления примесей и/или необязательного устройства для измельчения органических продуктов, устройство, в частности камерный фильтр-пресс или центрифуга, для разделения переработанных продуктов в виде биочара и технологической воды, получаемых в процессе гидротермической обработки, которое располагается ниже по потоку относительно устройства для преобразования органических продуктов в переработанные продукты в виде биочара и технологической воды, устройство для сушки и необязательного брикетирования биочара, получаемого в качестве переработанного продукта, которое расположено ниже по потоку относительно устройства для разделения переработанных продуктов в виде биочара и технологической воды, причем технологическая вода, получаемая при сушке и необязательном брикетировании добавляется в технологическую воду, полученную в процессе гидротермальной обработки, и устройство для по меньшей мере частичной вакуумной дистилляции технологической воды, получаемой в качестве переработанного продукта, посредством концентрирования с помощью вакуума, для производства удобрений, которое расположено ниже по потоку относительно устройства для разделения переработанных продуктов в виде угля и технологической воды. Комплекс также включает газификатор дерева/биочара, для по меньшей мере частичного преобразования высушенного и необязательно брикетированного биочара в синтез-газ, расположенный ниже по потоку относительно устройства для сушки и необязательного брикетирования угля. Комплекс также включает двухтопливный двигатель, для использования синтез-газа для производства электроэнергии с помощью

генератора, расположенного ниже по потоку относительно устройства для по меньшей мере частичного преобразования высушенного и необязательно брикетированного биочара в синтез-газ. Комплекс предусматривает, что отработанный воздух из установки для сушки и необязательного брикетирования биочара, забирается устройством для использования синтез-газа для производства электроэнергии с помощью генератора, а сбросное тепло, полученное при работе устройства для использования синтез-газа для производства электроэнергии с помощью генератора, используется в качестве источника тепла для устройства для по меньшей мере частичной вакуумной дистилляции технологической воды и/или для устройства для преобразования органических продуктов в переработанные продукты в виде биочара и технологической воды в процессе гидротермальной обработки, а технологическая вода после вакуумной дистилляции используется в качестве удобрения.

Предложенный комплекс сложен, так как его работа сопровождается образованием большого количества технологической воды, утилизация которой в качестве удобрения носит сезонный характер, а накопление и хранение которой невозможно в виду больших объемов при большой производительности системы по перерабатываемым органическим продуктам.

Патент США № US 2019/0161374 также описывает процесс и комплекс оборудования для производства топливного газа из биочара, полученного методом гидротермальной обработки.

Процесс также сопровождается образованием большого количества технологической воды, утилизация которой в качестве удобрения носит сезонный характер, а накопление и хранение которой невозможно в виду больших объемов при большой производительности системы по перерабатываемым органическим продуктам.

Для сокращения образования технологической воды в патенте США № 2020/0332375 A1 предлагается в реактор для гидротермальной обработки предлагается подавать перегретый водяной пар с температурой 160-240°C, находящийся под давлением 0,1-2,0 МПа, для обработки биомассы в течении 1-20 мин с последующим выводом обработанной биомассы и перегретого пара из реактора, отделения пара от обработанной биомассы и сжигания неконденсируемых газов, образующихся в результате гидротермальной карбонизации, в топке парового котла.

Однако, неконденсируемые газы, образующиеся в результате гидротермальной обработки, содержат, в основном, двуокись углерода и небольшое количество окиси углерода, метана и водорода. Теплота сгорания этих газов очень низкая и использовать эти газы как топливо не имеет смысла.

Очевидно, что процесс гидротермальной обработки требует активного перемешивания сред (воды или пара и биомассы) в реакторе для гидротермальной обработки.

В этих целях в патенте США № US 2014/0202845 A1 предложено осуществлять процесс гидротермальной обработки биомассы в реакторе с жидкостным кипящим слоем. Однако, этот процесс также сопровождается образованием большого количества технологической воды, утилизация которой в качестве удобрения носит сезонный характер, а накопление и хранение которой невозможно в виду больших объемов при большой производительности системы по перерабатываемым органическим продуктам.

В патенте США № US 2016/0361700 A1 предлагается интенсифицировать процесс перемешивания в реакторе для гидротермальной обработки за счет формирования циклов образования и разрушения пузырей в потоке жидкой биомассы.

Но такой процесс также сопровождается образованием большого количества технологической воды, утилизация которой в качестве удобрения носит сезонный характер, а накопление и хранение которой невозможно в виду больших объемов при большой производительности системы по перерабатываемым органическим продуктам.

В патенте США № 2017/0210625 A1 описан способ гидротермальной обработки и реактор для гидротермальной обработки с оптимальным перемешиванием отходов и водяного пара, в котором предусмотрены два узла ввода: один узел для ввода биомассы, второй - узел ввода пара. Причем оба узла удалены друг от друга для того, чтобы их взаимодействие могло обеспечить интенсивное перемешивание сред в реакторе для гидротермальной карбонизации.

Предложенный способ и устройство для его реализации имеют низкую энергоэффективность, так как не предусматривают дальнейшее использование тепловой энергии пара, используемого в процессе гидротермальной обработки. Кроме того, выводимый из колонны пар должен содержать частицы биомассы и некоторые продукты (уксусная кислота, фурфурол, гидрооксиметилфурфуrolа и др.), которые могут быть излечены и использованы как продукты с высокой добавленной стоимостью. Однако, способ выделения этих продуктов не предусматривает, что снижает экономическую эффективность способа.

В патенте РФ № 2011132925 А описан гидротермальной способ получения углеподобного материала и испарительная колонна, в которой исходную биомассу нагревают водяным паром, движущимся противотоком к обрабатываемой биомассе, причем пар поступает в нижнюю часть колонны, а биомасса - в верхнюю часть, а сама гидротермальная обработка биомассы происходит в нижней части колонны, в которой расположены перемешивающие устройства.

Предложенный способ и устройство для его реализации также имеют низкую энергоэффективность, так как не предусматривают дальнейшее использование тепловой энергии пара, используемого в процессе гидротермальной карбонизации. Кроме того, выводимый из колонны пар должен содержать частицы био-

массы и некоторые продукты (уксусная кислота, фурфурол, гидрооксиметилфурфурола и др.), которые могут быть излечены и использованы как продукты с высокой добавленной стоимостью. Однако, способ выделение этих продуктов не предусматривает, что снижает экономическую эффективность способа.

Наиболее близким к предлагаемому (прототипом) является комплекс оборудования для гидротермальной обработки биомассы, включающий установленные по ходу движения обрабатываемой биомассы котел для генерации перегретого водяного пара, сушилку исходной биомассы перегретым водяным паром при температуре 110°C, реактор для гидротермальной карбонизации биомассы перегретым водяным паром при температуре 300°C, теплообменник для конденсации отработанного водяного пара, установку для переработки конденсата с целью получения формиата натрия, ацетата натрия, фурфурола, 5-гидрооксиметилфурфурола и других продуктов. При этом через сушилку и реактора для гидротермальной карбонизации биомассы проходит один ленточный транспортер, по которому перемещается обрабатываемая биомасса из сушилки в реактор для гидротермальной обработки биомассы [Roy, B.; Kleine-Möllhoff, P.; Dalibard, A. Superheated Steam Torrefaction of Biomass Residues with Valorisation of Platform Chemicals - Part 1: Ecological Assessment. Sustainability 2022, 14, 1212].

Недостатками комплекса являются:

1) Сложность конструкции, так как:

работа комплекса требует генерации перегретого пара с температурой 110°C и с температурой 300°C, что требует либо наличия двух котлов для генерации перегретого водяного пара с двумя разными температурами, либо установки дополнительного теплообменника для снижения температуры пара;

сушка и гидротермальная обработка биомассы могут требовать разного времени для осуществления этих двух процессов, но, поскольку используется один ленточный транспортер и для сушилки и для реактора для гидротермальной обработки, то для обеспечения разного времени нахождения биомассы в обоих устройствах транспортер должен иметь разное количество петель в этих двух устройствах, что усложняет его конструкцию.

2) Сложность адаптации работы комплекса к переработке разных видов биомассы или одной и той же биомассы, но имеющей разную исходную влажность, так как, если исходная влажность биомассы будет выше, то время пребывания ее в сушилке должно быть больше и скорость перемещения транспортера в этом устройстве должна быть ниже, что сделать будет невозможно при сохранении того же времени обработки в реакторе для гидротермальной обработки.

3) Низкая энергоэффективность комплекса, так как:

тепловая энергия перегретого водяного пара, использованного для гидротермальной обработки, не используется для сушки исходной биомассы,

не используется тепловая энергия конденсата, полученного при охлаждении отработанного перегретого водяного пара.

Технической задачей изобретения является упрощение конструкции комплекса оборудования для гидротермальной обработки биомассы, обеспечение возможности необходимой степени гидротермальной обработки разных видов биомассы или одной и той же биомассы, но разной влажности, повышение энергоэффективности комплекса оборудования для гидротермальной обработки биомассы.

Сущность изобретения

Для решения поставленной задачи предложен комплекс оборудования для гидротермальной карбонизации (влажной торрефикации) биомассы и биоотходов для получения биочара, а также для производства тепловой и электрической энергии, включающий установленные по ходу движения обрабатываемой биомассы:

котел для генерации перегретого водяного пара,

сушилку исходной биомассы перегретым водяным паром, выполненную с возможностью получения высушенной биомассы и конденсата отработанного перегретого водяного пара,

реактор для гидротермальной карбонизации биомассы перегретым водяным паром, выполненный с возможностью получения частиц биочара и потока отработанного перегретого водяного пара, при этом:

между сушилкой и реактором для гидротермальной карбонизации биомассы установлена дробилка для измельчения высушенной биомассы,

реактор для гидротермальной карбонизации биомассы представляет собой реактор с кипящим слоем, который образуют частицы биочара, полученного в реакторе для гидротермальной карбонизации,

реактор для гидротермальной карбонизации биомассы и сушилка исходной биомассы связаны трубопроводом для подачи потока отработанного перегретого пара из реактора для гидротермальной карбонизации биомассы в сушилку исходной биомассы, и на котором установлен циклон для отделения частиц биоугля от потока отработанного перегретого пара.

Кроме того, предложенный комплекс оборудования для гидротермальной карбонизации биомассы может дополнительно включать за сушилкой биомассы вне линии движения обрабатываемой биомассы установленные:

теплообменник для утилизации тепла конденсата как первичного теплоносителя в установке с органическим циклом Ренкина, реактор для переработки конденсата с целью получения формиата натрия, ацетата натрия, фурфурола, 5-гидрооксиметилфурфурола и других продуктов.

Краткое описание чертежей

На чертеже представлена схема комплекса оборудования для гидротермальной обработки биомассы. Комплекс оборудования для гидротермальной карбонизации биомассы включает: котел 1 для генерации перегретого водяного пара, сушилка 2 для сушки исходной биомассы перегретым водяным паром при температуре 110°C, дробилка 3 для измельчения высушенной биомассы, реактор 4 для гидротермальной карбонизации биомассы перегретым водяным паром, циклон 5 для отделения частиц биочара от потока отработанного пара, теплообменник 6 для утилизации тепла конденсата как первичного теплоносителя в установке с органическим циклом Ренкина, реактор 7 для переработки конденсата с целью получения формиата натрия, ацетата натрия, фурфурола, 5-гидрооксиметилфурфурола и других продуктов.

Описание реализации предложенного комплекса оборудования

Комплекс оборудования работает следующим образом.

В паровом котле 1 за счет сжигания органического топлива или за счет электроэнергии генерируется перегретый водяной пар с температурой 200-350°C.

Диапазон температур перегретого водяного пара от 200 до 350°C является предпочтительным, поскольку при более низкой температуре увеличивается необходимая продолжительность процесса карбонизации, а при более высокой температуре снижается выход 5-гидрооксиметилфурфурола и фурфурола. Давление перегретого водяного пара предпочтительно составляет не более 0,07 МПа (изб).

Исходную биомассу подвергают сушке в сушилке 2 и измельчению в дробилке 3.

В качестве исходной биомассы может быть использована практически любая биомасса растительного или животного происхождения: возможно применение различных древесных отходов, растительных материалов, таких как, лузга проса, лузга подсолнечника, лузга риса, скорлупа орехов, птичьего помета, его смеси с древесными опилками или соломой, навоза крупного рогатого скота, навоза свиней, а также смеси этого навоза с соломой.

В качестве сушилки может быть использована, например, вакуумная сушилка, туннельная, валковая сушилка, в которую подается отработанный в данном процессе перегретый пар. Указанный пар конденсируется, за счет чего происходит сушка исходной биомассы.

Высушенную биомассу подают из сушилки 2 в дробилку 3, где происходит ее измельчение.

В качестве дробилки 2 можно использовать дробилку любой известной конструкции, например, молотковую дробилку.

Высушенная и измельченная биомасса и перегретый водяной пар поступают в реактор 4 для гидротермальной карбонизации биомассы перегретым водяным паром. Реактор 4 представляет собой реактор с кипящим слоем, например, как описанный в Евразийском патенте № 039214 "Способ влажной торрефикации (карбонизации) биомассы", выданный 17 декабря 2021 г.

Реактор с кипящим слоем имеет внешний обогрев от электронагревателей, в качестве альтернативы может быть использован обогрев высокотемпературным теплоносителем. Кипящий слой образуют частицы ранее полученного биочара. Использование частиц биочара, который при гидротермальной обработке исходной биомассы может рассматриваться как инертный материал, решает проблему отделения частиц биочара от инертного материала, если в качестве последнего используется любой другой подходящий материал, например песок.

Перегретый водяной пар проходит через слой частиц биочара и переводит слой частиц биочара и поступающих в него частиц исходной биомассы во взвешенное состояние. Благодаря высоким скоростям тепло- и массообмена в кипящем слое происходит интенсивная термохимическая обработка частиц биомассы.

В ходе термохимической обработки в кипящем слое биомасса теряет до 40-50% собственной массы. Поэтому более легкие частицы биочара уносятся из кипящего слоя с потоком отработанного пара и газов, выделившихся в процессе термохимической обработки.

Частицы биочара с потоком отработанного пара и газов, выделившихся в процессе термохимической обработки, поступают в циклон 5 для отделения частиц биочара от потока отработанного пара. После циклона 5 частицы биочара направляются для дальнейшей переработки (брикетирования, пеллетизации) или сжигаются в топке парового котла 1.

Освобожденный от частиц биочара отработанный перегретый пар с температурой 180-330°C вместе с газами, выделившимися из биомассы в процессе ее термохимической обработки, поступает в сушилку 2, где происходит сушка исходной биомассы за счет охлаждения и конденсации отработанного перегретого пара.

После конденсации отработанного перегретого пара остаются неконденсируемые газы, представляющие собой смесь двуоксида углерода, окиси углерода, метана, водорода. Эти газы подаются на сжигание в топку парового котла 1.

Конденсат, полученный при охлаждении отработанного перегретого водяного пара, имеет температуру около 100°C и используется в качестве первичного теплоносителя в установке с органическим

циклом Ренкина. В качестве такой установки с органическим циклом Ренкина может быть использована, например, установка с модулями генерации энергии ORC серии ULN фирмы Zuccato Energia S.r.l. (Италия). В качестве первичного теплоносителя в этой установке используется горячая вода с температурой не менее 94°C. Установки могут производить 30-100 кВт электрической энергии при подаче 350-1200 кВт тепловой энергии с КПД 8,3-9,1%. На выходе из теплообменника установки органического цикла Ренкина горячая вода имеет температуру 86°C. Эта вода поступает для переработки с целью получения формиата натрия, ацетата натрия, фурфурола, 5-гидрооксиметилфурфуrolа и других продуктов в реакторе 7. Реактор 7 может представлять собой паровую колонну или отпарную колонну. 5-гидрооксиметилфурфуrol и другие компоненты, такие как формиат натрия, ацетат натрия, фурфуrol, уксусная кислота, могут быть отделены от воды в паровой колонне вследствие разных температур кипения (162 и 116°C для фурфурола и 5 гидрооксиметилфурфуrolа), например, как более подробно описано в А.М. М. Borrero-López, V. Fierro, A. Jeger, A. Ouederni, E. Masson, et al., High added-value products from the hydrothermal carbonisation of olive stones. *Environmental Science and Pollution Research*, Springer Verlag, 2017, 24 (11), pp.9859-9869.

Таким образом упрощается работа комплекса оборудования, поскольку не требуется генерации перегретого пара с температурой 110°C и с температурой 300°C, т.е. не требуется либо наличия двух устройств для генерации перегретого водяного пара с двумя разными температурами, либо установки дополнительного теплообменника для снижения температуры перегретого пара.

Сушка и термохимическая обработка биомассы осуществляется в двух не связанных конструктивно аппаратах, что упрощает работу комплекса оборудования и адаптацию его работы к переработке разных видов биомассы или одной и той же биомассы, но имеющей разную исходную влажность.

Повышается энергоэффективность комплекса оборудования, так как тепловая энергия перегретого водяного пара, использованного для гидротермальной обработки, используется для сушки исходной биомассы и используется тепловая энергия конденсата, полученного при охлаждении отработанного перегретого водяного пара.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Комплекс для гидротермальной карбонизации биомассы, включающий:
 - котел, выполненный с возможностью получения перегретого водяного пара с температурой от 200 до 350°C,
 - сушилку для сушки исходной биомассы перегретым водяным паром, выполненную с возможностью получения высушенной биомассы и конденсата отработанного перегретого водяного пара,
 - реактор для гидротермальной карбонизации биомассы перегретым водяным паром, выполненный с возможностью получения частиц биочара и потока отработанного перегретого водяного пара,
 - теплообменник для утилизации тепла конденсата как первичного теплоносителя в установке с органическим циклом Ренкина,
 - реактор для переработки конденсата, выполненный с возможностью получения формиата натрия, ацетата натрия, фурфурола, 5-гидрооксиметилфурфуrolа и других продуктов, при этом:
 - между сушилкой и реактором для гидротермальной карбонизации биомассы установлена дробилка для измельчения высушенной биомассы,
 - реактор для гидротермальной карбонизации биомассы представляет собой реактор с кипящим слоем, который образуют частицы биочара, полученного в реакторе для гидротермальной карбонизации,
 - реактор для гидротермальной карбонизации биомассы имеет внешний обогрев от электронагревателей или высокотемпературного теплоносителя,
 - реактор для гидротермальной карбонизации биомассы и сушилка для сушки исходной биомассы связаны трубопроводом для подачи потока отработанного перегретого пара из реактора для гидротермической карбонизации биомассы в сушилку для сушки исходной биомассы, и при этом на указанном реакторе установлен циклон для отделения частиц биочара от потока отработанного перегретого пара,
 - теплообменник для утилизации тепла конденсата и реактор для переработки конденсата установлены за сушилкой исходной биомассы вне линии движения обрабатываемой биомассы.
2. Комплекс по п.1, в котором реактор для переработки конденсата представляет собой паровую колонну или отпарную колонну.
3. Комплекс по п.1, в котором сушилка для сушки исходной биомассы перегретым водяным паром представляет собой вакуумную сушилку, снабженную паровой рубашкой.
4. Комплекс по п.1, в котором дробилка для измельчения высушенной биомассы представляет собой молотковую дробилку.

Схема комплекса оборудования для гидротермальной карбонизации биомассы

