

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036685**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.08

(21) Номер заявки
201990037

(22) Дата подачи заявки
2017.06.15

(51) Int. Cl. **C07C 45/60** (2006.01)
C07C 27/00 (2006.01)
B01J 8/24 (2006.01)
C07C 29/14 (2006.01)
C07C 47/19 (2006.01)
C07C 31/20 (2006.01)

(54) ТЕРМОЛИТИЧЕСКАЯ ФРАГМЕНТАЦИЯ САХАРОВ

(31) РА 2016 00351; РА 2016 00371

(32) 2016.06.16; 2016.06.22

(33) DK

(43) 2019.06.28

(86) PCT/EP2017/064712

(87) WO 2017/216311 2017.12.21

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ХАЛЬДОР ТОПСЕЭ А/С (DK)

(72) Изобретатель:
**Ларсен Мортен Боберг, Осмундсен
Кристиан Мэруп, Таарнинг Есбен
(DK)**

(74) Представитель:
Беляева Е.Н. (BY)

(56) US-A-5397582
WO-A2-2012115754
WO-A1-2016001169

(57) Изобретение касается способа крупномасштабного и энергоэффективного производства оксигенатов из сахара, при котором исходное сырье на основе сахара подают в реактор термолитической фрагментации, содержащий псевдооживленный поток теплопроводящих частиц. Теплопроводящие частицы могут быть отделены от псевдооживленного потока перед охлаждением продукта фрагментации и могут быть направлены в повторный нагреватель для повторного нагрева частиц и рециркуляции нагретых частиц в реактор фрагментации.

B1**036685****036685****B1**

Область изобретения

Изобретение касается способа превращения исходного сырья на основе сахара в продукт C_1 - C_3 оксигенатов и системы, пригодной для осуществления этого способа. Способ и система пригодны для промышленного применения, и способ может быть осуществлен как крупномасштабный непрерывный процесс.

Предпосылки к созданию изобретения

Биомасса представляет особый интерес как сырье по причине ее способности быть использованной в качестве добавки и возможного заменителя нефти как исходного сырья при производстве промышленных химикатов. В последние годы проводят исследования по разработке различных технологий использования биомассы. Значительную часть биомассы составляют углеводы, поэтому существуют различные стратегии их эффективного использования в качестве исходного сырья для получения промышленных химикатов. Эти стратегии включают различные способы, основанные на ферментации, пиролизе, а также различные процессы, такие как гидрогенолиз или гидроформилирование или катализируемая кислотами дегидратация.

Примеры химикатов, производимых из биомассы, включают: заменитель природного газа, биотоплива, такие как этанол и биодизель, материалы для поджаривания пищевых продуктов и промышленные химикаты, такие как диолы (этиленгликоль и пропиленгликоль), кислоты (молочная кислота, акриловая кислота и леволиновая кислота) и широкий спектр других важных химических промежуточных соединений (эпихлоргидрин, изопрен, фурфурол и синтез-газ).

В области пиролиза исследования были сосредоточены в сфере использования исходного сырья на основе твердой биомассы и других целлюлозных материалов для производства вышеуказанных химических веществ.

Проводили исследования возможности использования сахаров в качестве исходного сырья для производства материалов для поджаривания пищевых продуктов, которые содержат большое количество гликолевого альдегида (также называемого гидроксиацетальальдегидом) в качестве основного вещества для поджаривания.

В документе US 5,397,582 и соответствующей публикации WO 92/17076 (Андервуд) описан способ получения "жидкого дыма" для поджаривания пищевых продуктов путем введения сахара и/или крахмала в два альтернативных типа газотвердых контактных реакторов. Один тип реактора относится к реакторам нисходящего потока, где сахар контактирует с теплоносителем (например, песком) для получения продуктов пиролиза, а другой представляет собой реактор с восходящим потоком с псевдоожиженным слоем. В последнем реакторе исходное сырье вводят в теплопроводящие частицы в виде песка. В ходе термолитической фрагментации образуются пары продукта. Поток паров продукта и отработанных теплопроводящих частиц переносится в два внешних циклона, которые расположены последовательно, и происходит конденсация полученного парообразного потока. Теплопроводящие частицы, включая остатки полукокса, рециркулируются из циклона первой стадии в нижнюю часть реактора фрагментации. Время пребывания паров продукта составляет 0,03-2 с, температура фрагментации - 400-1000°C, а охлаждение паров пиролиза до температуры менее 300°C происходит менее чем за 0,6 с. В документе не раскрыто, каким образом обеспечивается тепло для подогрева отработанных теплопроводящих частиц. В результате пиролиза в указанном устройстве порошкообразного крахмала при температуре 550°C образуется пиролизная жидкость, в которой половина извлеченных органических веществ представляет собой гликолевый альдегид.

В документе US 7,094,932 (Маерски) описан способ получения ингредиента для поджаривания пищевых продуктов путем термолитической фрагментации водного раствора сахара и, в частности, глюкозы, с получением продукта пиролиза с высокой концентрацией гликолевого альдегида. В этом способе используют плотный псевдоожиженный слой частиц песка (который также именуется пузырьковым слоем). Раствор глюкозы, содержащий 25-99% воды, вводят в слой реактора и реакцию осуществляют при температуре 500-600°C. Предложенное время пребывания в реакторе составляет 0,1-5 с. Тепло обеспечивается путем электрического нагрева. В поверхностном конденсаторе происходит конденсация газообразного продукта реакции. Массовый выход гликолевого альдегида в конденсированном жидком продукте фрагментации составляет по меньшей мере 50 мас.% сахара, подаваемого в реактор. Жидкий продукт фрагментации включает соединения C_1 - C_3 оксигенатов, включая формальдегид, гликолевый альдегид, глиоксаль, пирувальдегид и ацетол. Основным продуктом этой реакции является гликолевый альдегид, при этом эффективность регенерации углерода в конденсате составила до 85-89% от количества сахара, подаваемого в реактор. В примере 6 документа US 7093932 описано увеличение масштаба производства в соответствии с этим способом путем подачи исходного сырья, содержащего 50% моногидрата декстрозы (глюкозы), со скоростью подачи 7,3 кг/ч., в более крупную установку описанного выше типа, в результате чего выход гликолевого альдегида составил 66%. Время пребывания в этой системе составило 2-3 с, а температура находилась в диапазоне 530-560°C. Тепло все еще обеспечивалось путем электрического нагрева.

В документе WO 2014/131764 описан способ получения кетена из раствора сахара, в соответствии с которым раствор сахара подвергают пиролизу в присутствии псевдоожиженного материала с площадью

поверхности до 600 м²/г при температуре менее 700°C. Псевдооживленный материал представляет собой диоксид кремния, а время пребывания составляет 50-150 мс.

В обоих документах Андервуд и Маерски предложены системы для производства продукта, богатого гликолевым альдегидом, путем пиролиза сахаров в реакторе с использованием частиц песка в качестве теплоносителей и с коротким временем пребывания, чтобы обеспечить высокую скорость конверсии сахара в гликолевый альдегид. Тем не менее, предложенные системы не могут быть использованы для промышленного преобразования сахаров в смеси C₁-C₃ оксигенатов, богатых гликолевым альдегидом, путем термолитической фрагментации.

Реакторы с псевдооживленным слоем используют для обработки различных видов исходного сырья. Их функционирование может осуществляться с использованием различных режимов псевдооживления. Выбор предпочтительного режима производится в зависимости от используемого исходного сырья и целевого продукта, из-за этого существует большое количество различных конфигураций реакторов с псевдооживленным слоем.

Для превращения биомассы в бионефть путем пиролиза проводили исследования нескольких конфигураций реактора, например реакторов с плотной фазой (т.е. с пузырьковым кипящим слоем) и с разбавленной фазой (т.е. райзер), а также радикально разные типы реакторов, например реакторов абляционного пиролиза.

В документе WO 2012/115754 описан способ пиролиза, в соответствии с которым твердую биомассу, например древесину или другой материал, растительного происхождения, и твердый теплоноситель, такой как песок, смешивают на дне реактора с восходящим потоком и подвергают условиям пиролиза, с получением выходящего продукта пиролиза. Выходящий продукт пиролиза подают в циклонный сепаратор, где его разделяют на (1) обогащенную твердыми веществами фракцию, содержащую твердый полукок и рециркулированную часть твердого теплоносителя и (2) обедненную твердыми веществами фракцию, содержащую продукты пиролиза. Продукты пиролиза включают сырое пиролизное масло и другие ценные химические вещества, такие как карбоновые кислоты, фенольные смолы и кетоны. Обогащенную твердыми веществами фракцию подают в реактор повторного нагрева, содержащий псевдооживленный слой теплопроводящих частиц, в котором происходит сжигание побочного продукта, твердого полукокса, в присутствии кислородсодержащего газа, при этом для снижения температуры в реакторе повторно нагрева добавляют охлаждающую среду. Повторно нагретый твердый теплоноситель подают обратно в реактор пиролиза с восходящим потоком, где теплопроводящие частицы, в свою очередь, передают тепло реакционной смеси пиролиза для осуществления реакции пиролиза. Парообразные продукты пиролиза охлаждают и отделяют.

Псевдооживленный слой также может применяться для каталитического или термического крекинга углеводородов. Каталитический крекинг может осуществляться с использованием процесса флюид-каталитического крекинга (FCC), при котором нефтяные фракции с высокой температурой кипения превращают в сравнительно более легкие продукты, такие как бензин. Примеры термического крекинга включают процесс флюидизированного коксования, при котором происходит конверсия тяжелых фракций нефти, т.е. пека, с получением газойля, или процессы термического крекинга, при которых происходит конверсия нефти в этилен и пропилен. Эти процессы крекинга, в основном, осуществляют в системах с циркулирующим псевдооживленным слоем.

Одно из устройств, которые могут использоваться для крекинга легкого и тяжелого сырья FCC, описано в US 5,302,280 (Ломас). Описанная система содержит реактор с восходящим потоком для крекинга исходного сырья с использованием катализатора. После крекинга частицы катализатора отделяют от паров и переносят в регенераторный реактор, а пары подвергают резкому охлаждению. Частицы катализатора контактируют с кислородсодержащим потоком в плотном псевдооживленном слое, что приводит к сжиганию остаточного кокса, чтобы обеспечить тепло для катализатора и удалить кокс из частиц катализатора.

Соответственно, в настоящее время разрабатываются новые виды применения продуктов C₁-C₃ оксигенатов, вследствие этого прогнозируется рост спроса на такие продукты. Такие оксигенатные продукты могут, например, использоваться для производства этиленгликоля и пропиленгликоля путем их гидрирования (смотрите, например, WO 2016/001169) или очистки от сероводорода в соответствии с описанием в документе WO 2017/064267. Тем не менее, могут быть предусмотрены и различные другие применения. Насколько нам известно, в настоящее время не существует систем или способов, которые бы фактически могли быть использованы для термолитической конверсии сахаров в смеси, богатые гликолевым альдегидом, с высоким выходом в промышленном масштабе.

Таким образом, в настоящее время существует потребность в высокоэффективном и улучшенном способе получения C₁-C₃ оксигенатов из сахаров, который мог бы использоваться для крупномасштабного производства, а также в системах, которые могут использоваться для осуществления таких способов.

Краткое изложение сущности изобретения

Авторы настоящего изобретения, имея своей целью получить C₁-C₃ оксигенаты высокой чистоты с высоким выходом и эффективностью из экологически безопасных источников, обнаружили, что способы и системы, которые в настоящий момент используют для проведения термолитической фрагментации

(пиролиза) исходного сырья из экологически безопасных источников, имеют различные недостатки, что делает их непригодными для такого использования в промышленных масштабах.

Авторами изобретения был разработан способ получения C_1 - C_3 оксигенатов высокой степени чистоты в промышленном масштабе. Этот способ включает термолитическую фрагментацию раствора сахара в реакторе фрагментации, в котором в псевдоожиженный слой теплопроводящих частиц подают раствор сахара и преобразуют в реактор типа райзера, основную фракцию частиц удаляют из потока продукта с последующим резким охлаждением потока продукта, и удаленные частицы перемещают в реактор повторного нагрева для нагрева и рециркуляции нагретых частиц в реактор фрагментации. Такой способ является высокоэнергоэффективным процессом, обеспечивающим высокий выход C_1 - C_3 оксигенатов. Авторами изобретения также было обнаружено, что, когда исходным сырьем является сахар, для нагрева теплопроводящих частиц требуется подача тепла от внешнего источника, и что предпочтительно проводить повторный нагрев в отдельном реакторе.

В соответствии с одним аспектом настоящего изобретения предоставляется способ термолитической фрагментации сахара, с получением C_1 - C_3 оксигенатов, при этом указанный способ включает следующие этапы:

а) подачу теплопроводящих псевдоожижаемых частиц в реактор фрагментации с псевдоожиженным слоем, содержащим райзер, и пригодный для осуществления термолитической фрагментации и для псевдоожижения потока частиц со скоростью подачи, достаточной для поддержания температуры, по меньшей мере 250°C , например, по меньшей мере 300, 350, 400 или 450°C , после того, как произошла термолитическая фрагментация и достаточной для получения псевдоожиженного потока частиц;

б) подачу раствора исходного сырья, содержащего сахар, в псевдоожиженный поток частиц для осуществления термолитической фрагментации сахара с получением продукта фрагментации с большой концентрацией частиц; затем

с) сепарацию фракции частиц из продукта фрагментации с большой концентрацией частиц с получением продукта фрагментации с малой концентрацией частиц;

д) резкое охлаждение продукта фрагментации с малой концентрацией частиц по меньшей мере на 50°C , чтобы от момента подачи исходного сырья в поток псевдоожижения, содержащий частицы, до резкого охлаждения среднее время пребывания образовавшегося газа составило максимум 5 с, например, максимум 3 с, например, максимум 2, 1, 0,8 или 0,6 с; и

е) извлечение неочищенного продукта фрагментации,

ф) перемещение частиц, отделенных на этапе с), в повторный нагреватель для нагрева; и

г) рециркуляцию нагретых частиц в реактор фрагментации.

Преимуществом такого способа является то, что с его использованием обеспечивается энергоэффективный способ получения неочищенного продукта фрагментации с высоким выходом C_1 - C_3 оксигенатов и низким содержанием нежелательных побочных продуктов. Это достигается за счет сочетания признаков изобретения, которые включают использование раствора сахара в качестве исходного сырья, высокую скорость теплопередачи, короткое время пребывания паров продукта фрагментации, первичное удаление частиц до резкого охлаждения паров продукта фрагментации, резкое охлаждение паров продукта фрагментации после первой сепарации и повторный нагрев частиц во внешнем повторном нагревателе. Способ обеспечивает высокую энергоэффективность и может быть использован в крупномасштабном производстве C_1 - C_3 оксигенатов, например, для их дальнейшей переработки в этиленгликоль и пропиленгликоль. Данный способ может быть использован в непрерывном производстве C_1 - C_3 оксигенатов.

Осуществляют нагрев теплопроводящих частиц в нагревателе, расположенном вне реактора фрагментации, а затем их подачу в реактор фрагментации, например, путем прямого контакта с горячим газом в другом реакторе. Частицы нагревают до температуры, достаточной для переноса тепла из нагревателя частиц в реактор фрагментации, чтобы обеспечить передачу тепла раствору сахара в степени, достаточной для термолитической фрагментации сахара и для получения потока продукта фрагментации, содержащего большую часть C_1 - C_3 оксигенатов. Поток частиц в псевдоожиженном слое можно регулировать в соответствии с потоком исходного сырья, чтобы обеспечить необходимое количество тепла для исходного сырья. Для частиц материалов с высокой теплоемкостью требуется меньший массовый расход, чем для частиц материалов с меньшей теплоемкостью. В одном из вариантов осуществления изобретения частицы, полученные на этапе а), подают в реактор фрагментации при массовой скорости потока по меньшей мере 10 кг/с, предпочтительно при массовой скорости потока 10-1000 кг/с.

В контексте настоящего изобретения термин "продукт фрагментации" означает парообразный поток, полученный в результате термолитической фрагментации сахара. Термин "продукт фрагментации с большой концентрацией частиц" означает продукт фрагментации перед первой сепарацией частиц, который содержит большое количество частиц, а термин "продукт фрагментации с малой концентрацией частиц" означает продукт фрагментации после первой сепарации частиц, который содержит меньшее количество частиц. Термин "неочищенный продукт фрагментации" означает поток, выходящий из реактора фрагментации, из которого удалена часть частиц.

Предпочтительно, частицы выбраны из группы материалов, состоящей из песка, диоксида кремния, стекла, оксида алюминия, стали и карбида кремния.

Предпочтительно, средний размер частиц составляет 20-400 мкм, например, 20-300, 20-200 или 20-100 мкм.

Реактор с псевдооживленным слоем представляет собой реактор, в котором присутствует слой частиц, которые должны быть псевдооживлены потоком псевдооживляющего газа, который, как правило, подают в нижней части реактора. Состояние псевдооживления частиц в таком слое регулируют в зависимости от скорости и физических свойств потока псевдооживляющего газа в сочетании с физическими свойствами частиц. Обычно считается, что в плотном слое/турбулентном слое/барботажном слое поверхностная скорость потока псевдооживляющего газа внутри реактора составляет 0,1-2 м/с. Считается, что поверхностная скорость псевдооживляющего потока в быстром слое (в райзере/реакторе переноса) внутри реактора составляет 3-22 м/с. Однако точный диапазон скоростей зависит от физических свойств частиц и псевдооживляющего газа и может быть определена экспериментальным путем или рассчитана способами, известными специалистам.

В настоящем изобретении термолитическую фрагментацию осуществляют в реакторе с псевдооживленным слоем, работающем в режиме быстрого псевдооживления, то есть в реакторе с восходящим потоком. В целом, реактор с восходящим потоком представляет собой реактор, вытянутый в вертикальном направлении, в нижней части которого находится входное отверстие для подачи потока псевдооживления, входное отверстие для подачи частиц и входное отверстие для подачи исходного сырья, при этом входное отверстие для подачи частиц расположено по ходу процесса после входного отверстия для подачи потока псевдооживления, а входное отверстие для подачи исходного сырья расположено по ходу процесса после отверстия для подачи частиц. Для целей настоящего изобретения частицы могут образовывать плотнофазный псевдооживленный слой в зоне между входным отверстием для подачи частиц и входным отверстием для подачи исходного сырья. При необходимости, можно обойтись без потока псевдооживления и, следовательно, без входного отверстия для подачи потока псевдооживления. Например, исходное сырье может подаваться непосредственно после теплопроводящих частиц и выступать, таким образом, в качестве потока псевдооживления.

Температура частиц на подаче частиц в реактор фрагментации предпочтительно составляет по меньшей мере 300°C, например, по меньшей мере 400, 450, 500, 550, 600 или 650°C.

Предпочтительно, температура частиц на подаче находится в диапазоне 300-800°C, например, в диапазоне 400-800 или 450-650°C.

Исходное сырье может подаваться в любой момент после введения теплопроводящих частиц. Когда сырье контактирует с теплопроводящими частицами, образуется зона испарения, в которой происходит испарение растворителя, и в результате фрагментации сахара начинается образование газообразных продуктов. Это приводит к увеличению поверхностной скорости газа, который в результате этого улавливает теплопроводящие частицы. Соответственно, после отверстия для подачи исходного сырья теплопроводящие частицы и сырье образуют быстрый слой над зоной испарения, который может называться райзером. В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения входное отверстие для подачи исходного сырья выполняют в нижней части райзера.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения реактор фрагментации содержит первый сепаратор частиц после райзера для сепарации фракции частиц из продукта фрагментации с большой концентрацией частиц. Первый сепаратор частиц может также именоваться конечной частью райзера в тех случаях, когда он расположен сразу после райзера. Когда первый сепаратор частиц расположен перед этапом охлаждения или резкого охлаждения потока продукта фрагментации, преимущество состоит в том, что в этом случае исключается необходимость охлаждения фракции теплопроводящих частиц во время охлаждения потока продукта фрагментации, что позволяет избежать ненужных потерь тепла.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения основную часть теплопроводящих частиц отделяют в первом сепараторе частиц. Соответственно, в первом сепараторе частиц от продукта фрагментации с большой концентрацией частиц происходит отделение более 50 мас.% теплопроводящих частиц, например, по меньшей мере 60, 70, 80, 90, 95 или 99 мас.%. Предпочтительно первый сепаратор частиц представляет собой сепаратор с изменением направления потока. В этом типе сепаратора происходит быстрое отделение продукта фрагментации от частиц, что позволяет быстрее выполнить резкое охлаждение и, таким образом, тепло воздействует на продукт фрагментации в течение минимального времени, тем самым количество распадающегося продукта фрагментации уменьшается, и предотвращается дальнейшая реакция смеси оксигенатов в продукте фрагментации. Обеспечиваемые таким образом быстрое нагревание исходного сырья и быстрое охлаждение продукта фрагментации являются в высокой степени предпочтительными, так как средний период времени, в течение которого оксигенаты в продукте фрагментации подвергают воздействию тепла и, следовательно, тепловому распаду, очень короткий, при этом основную часть сахара, подаваемого в реактор, подвергают достаточному нагреву для протекания термолитической фрагментации.

Соответственно, среднее время пребывания газа от подачи исходного сырья до резкого охлаждения находится в диапазоне 0,01-5 с, например 0,01-3 с, 0,1-1 с или 0,3-0,8 с. Среднее время пребывания в райзере, необходимое для того, чтобы основная часть сахара, подаваемого в реактор, подверглась воздейст-

вию тепла, достаточному для термолитической фрагментации, зависит от скорости теплопередачи частиц. Скорость теплопередачи зависит от таких факторов, как температура частиц на подаче, теплоемкость частиц, растворитель, используемый в растворе сахара и т.д. Скорость частиц и конструкция реактора могут быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить подачу достаточного, но не избыточного количества тепла для термолитической фрагментации. С помощью этого устройства может обеспечиваться очень высокая скорость нагрева исходного сырья, составляющая более 1000°C в секунду. Преимущество сепарации теплопроводящих частиц от продукта фрагментации с большой концентрацией частиц, перед резким охлаждением, состоит в том, что таким образом может осуществляться регенерация остаточного тепла теплопроводящих частиц.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения газообразный продукт из реактора фрагментации отделяют от частиц до того, как они поступают в повторный нагреватель. Это может дополнительно повысить выход продукта.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения реактор содержит этап резкого охлаждения по ходу процесса после первого сепаратора частиц. Преимущество резкого охлаждения после сепарации фракции теплопроводящих частиц заключается в том, что при этом снижаются энергопотери. Это повышает энергоэффективность способа. Кроме того, когда присутствует меньшее количество теплопроводящих частиц, резкое охлаждение потока продукта фрагментации происходит быстрее и требует переноса меньшей энергии. Предпочтительно резкое охлаждение осуществляют путем подачи жидкости, такой как вода или потоки рециркуляции с последующих этапов процесса реактора фрагментации, в продукт фрагментации с малой концентрацией частиц. Такая жидкость может представлять собой промежуточный или конечный продукт, полученный после термолитической фрагментации. Это дополнительно повышает энергоэффективность процесса. В качестве альтернативы, резкое охлаждение может осуществляться путем непрямого теплообмена или путем введения более холодных частиц в продукт фрагментации с малой концентрацией частиц. Предпочтительно, частицы представляют собой частицы того же типа, что и частицы, используемые в качестве теплопроводящих частиц, только имеющие более низкую температуру. Преимущество этого состоит в том, что при подаче частиц они могут образовывать часть рециркуляционного потока частиц. Жидкость может быть впрыснута или распылена в продукт фрагментации с малой концентрацией частиц, например, через сопла в реакторе фрагментации.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения резкое охлаждение продукта фрагментации с малой концентрацией частиц, осуществляют до температуры менее 450°C, например, менее 400, 350 или 300°C.

Термолитическая фрагментация сахара является эндотермической реакцией, в основном, за счет испарения исходного сырья. Таким образом, в ходе процесса теплопроводящие частицы будут терять некоторое количество тепла, если в процесс не будет подаваться дополнительное тепло. В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения температурная разница между температурой на подаче частиц и на выходе из реактора фрагментации находится в диапазоне 10-600°C, например 50-250°C. В соответствии с другим вариантом осуществления изобретения температура теплопроводящих частиц на выходе из реактора фрагментации находится в диапазоне 250-700, например 300-600 или 350-550°C.

Теплопроводящие частицы, отделенные в первом сепараторе частиц от продукта фрагментации с большой концентрацией частиц, перемещают в повторный нагреватель, в котором происходит нагрев теплопроводящих частиц с последующей их рециркуляцией в реактор фрагментации. Преимуществом такого внешнего нагрева теплопроводящих частиц является то, что источник тепла не влияет на реакцию термолитической фрагментации. Таким образом, это позволяет осуществлять процесс нагревания, который включает сгорание в присутствии избытка кислорода, чтобы обеспечить тепло для начала эндотермической реакции без воздействия кислорода на переокисление сахара.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения реактор содержит камеру нагрева для нагрева теплопроводящих частиц и источник нагрева. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения повторный нагреватель представляет собой реактор с псевдоожиженным слоем, содержащий райзер.

Предпочтительно, температура теплопроводящих частиц на выходе из повторного нагревателя находится в диапазоне 300-800°C, например, 400-800, 400-700 или 500-700°C.

Реактор фрагментации может содержать второй сепаратор частиц, расположенный по ходу процесса после этапа резкого охлаждения. Его используют для удаления оставшихся теплопроводящих частиц для получения продукта фрагментации с более высокой степенью чистоты. При удалении максимального количества частиц снижается износ расположенного далее по ходу процесса оборудования и уменьшается возможность нарушений на последующих этапах. В контексте настоящего изобретения термин "удалить" означает "уменьшить количество". Кроме того, отделенные теплопроводящие частицы могут подаваться в повторный нагреватель. В качестве альтернативы, удаленные во втором сепараторе теплопроводящие частицы, которые были подвергнуты охлаждению, могут дополнительно охлаждаться и использоваться в качестве частиц для резкого охлаждения в реакторе фрагментации.

Преимущество использования теплопроводящих частиц для обеспечения тепла для термолитической фрагментации состоит в том, что при этом реактор фрагментации может не содержать устройство

для нагрева ни внутри, ни на поверхности реактора. Однако это не означает, что реактор фрагментации не может содержать такие нагревательные устройства в принципе. Использование частиц для обеспечения тепла для термолитической фрагментации сахара выгодно по нескольким причинам. Например, частицы имеют большую площадь поверхности для передачи тепла к большим количествам сахара. Эти преимущества продолжают существовать даже при использовании способа в крупномасштабном производстве. Фактически, маловероятно, что достаточная теплопередача ограничит производительность способа согласно изобретению.

Раствор исходного сырья, полученный на этапе с), содержит сахар. В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения раствор исходного сырья представляет собой водный раствор сахара. В контексте настоящего изобретения термин "сахар" означает углевод, содержащий один или несколько сахаридных остатков C6 и/или C5, главным образом, в форме моно- и/или дисахарида (дисахаридов). В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения сахар выбирают из группы, состоящей из сахарозы, лактозы, ксилозы, арабинозы, рибозы, маннозы, тагатозы, галактозы, глюкозы и фруктозы или их смесей. Сахар также может быть в форме сахарного сиропа. Термолитическая фрагментация глюкозы обеспечивает высокий выход гликолевого альдегида. Соответственно, если желательно обеспечить высокий выход гликолевого альдегида, предпочтительными являются сахара, содержащие глюкозные остатки.

В еще одном варианте осуществления изобретения раствор исходного сырья вводят в реакционную камеру с псевдоожиженным слоем в виде водного раствора, содержащего до 90 мас.% сахара. В еще одном варианте осуществления изобретения раствор исходного сырья вводят в реакционную камеру с псевдоожиженным слоем в виде водного раствора, содержащего 10-90 мас.% сахара, например, 30-80%, или 40-70 мас.% сахара.

C₁-C₃ оксигенаты, полученные с использованием способа по настоящему изобретению, состоят, преимущественно, из формальдегида (C1), гликолевого альдегида (C2), глиоксала (C2), пирувальдегида (C3) и ацетона (C3). Однако для большинства применений C2- и C3 оксигенаты в качестве продукта представляют наибольшую ценность. Неочищенный продукт фрагментации, полученный с использованием способа по настоящему изобретению, содержит смесь C₁-C₃ оксигенатов. В настоящем документе следующие термины могут использоваться взаимозаменяемо: "смесь C₁-C₃ оксигенатов", продукт C₁-C₃ оксигенатов" и "C₁-C₃ оксигенаты". В одном варианте осуществления изобретения продукт фрагментации содержит большое количество гликолевого альдегида, это означает, что по меньшей мере 50%, например, по меньшей мере 60% или 70 мас.% смеси C₁-C₃ оксигенатов составляет гликолевый альдегид. В еще одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере 50%, например, по меньшей мере 60, 70 или 80 мас.% смеси C₁-C₃ оксигенатов составляет гликолевый альдегид или глиоксаль. В еще одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере 3%, например, по меньшей мере 5% или 7 мас.% смеси C₁-C₃ оксигенатов составляет пирувальдегид. В еще одном варианте осуществления изобретения по меньшей мере 3%, например, по меньшей мере 5% или 7 мас.% смеси C₁-C₃ оксигенатов составляет пирувальдегид или ацетон.

Способ по настоящему изобретению может быть использован в крупномасштабном производстве C₁-C₃ оксигенатов. Соответственно, количество сахара, для переработки которого может использоваться настоящий способ, составляет более 1000 т/год в одном реакторе, например, более 5000, 10000, 50000, 100000 или 1000000 т/год в одном реакторе фрагментации из расчета на сухую массу сахара.

Преимуществом способа и устройства по настоящему изобретению является то, что с их помощью можно обеспечить общий выход по углероду C₁-C₃ оксигенатов более 60 мол.%, например, более 70, 75 или 80 мол.%. Так как C₂ и C₃ оксигенаты являются, в целом, более ценным продуктом, чем C₁ оксигенаты, желательно обеспечить высокий выход C₂-C₃ оксигенатов. В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения общий выход по углероду C₂-C₃ оксигенатов составляет более 60 мол.%, например, более 70, 75 или 80 мол.%. В соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения общий выход по углероду C₂ оксигенатов составляет более 50 мол.%, например, более 60, 70, 75 или 80 мол.%. В соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения общий выход по углероду гликолевого альдегида составляет более 50 мол.%, например, более 60, 70, 75 или 80 мол.%.

В соответствии с одним из аспектов настоящего изобретения повторный нагреватель представляет собой реактор типа райзера (который также именуют "райзером"). Преимущество использования этого типа повторного нагревателя состоит в том, что можно осуществлять быстрое нагревание больших количеств частиц, и что можно осуществлять реакцию горения отдельно от нагревания теплопроводящих частиц. Подачу теплопроводящих частиц осуществляют через входное отверстие для подачи частиц, и происходит их нагрев внутри райзера повторного нагревателя. Нагретые частицы покидают райзер повторного нагревателя через выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя. Предпочтительно, температура теплопроводящих частиц на выходе из повторного нагревателя находится в диапазоне 400-800°C, например, 500-700°C. Нагретые теплопроводящие частицы циркулируют от выходного отверстия для отвода частиц из повторного нагревателя до входного отверстия для подачи частиц в реактор фрагментации. Теплопроводящие частицы перемещают через трубопровод от выходного отверстия для отвода частиц из реактора фрагментации во входное отверстие для подачи частиц в повторный на-

греватель. В одном из вариантов осуществления изобретения выходное отверстие для отвода частиц из реактора фрагментации расположено выше, чем входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель, чтобы гравитация способствовала транспортировке частиц. Аналогичным образом, нагретые частицы перемещают через трубопровод от выходного отверстия для отвода частиц из повторного нагревателя во входное отверстие для подачи частиц в реактор фрагментации. В одном из вариантов осуществления изобретения выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя расположено выше, чем входное отверстие для подачи частиц в реактор фрагментации, чтобы гравитация способствовала транспортировке частиц. Преимущество использования райзера как в реакторе фрагментации, так и в повторном нагревателе состоит в том, что можно использовать систему с циркулирующим псевдоожиженным слоем, в которой частицы поднимаются внутри райзера, а затем циркуляции частиц между двумя системами райзера способствует гравитация. Это является большим преимуществом при производстве в промышленных масштабах смесей C_1 - C_3 оксигенатов из сахаров.

Чтобы обеспечить высокий выход углерода, желательно, чтобы в ходе процесса производилось минимальное количество кокса или полукокса. Однако при низком уровне кокса и полукокса происходит снижение количества тепла, выделяющегося при сгорании таких побочных продуктов. При осуществлении способа по настоящему изобретению обеспечивается снижение полученных количеств кокса и полукокса. Из-за этого требуется подача тепла из внешнего источника. В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения повторный нагреватель содержит входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения, горелку, входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель, райзер повторного нагревателя, сепаратор частиц повторного нагревателя, выходное отверстие для отвода газа из повторного нагревателя и выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя. Воздух горения может представлять собой, например, атмосферный воздух или другой кислородсодержащий газ.

Тепло может обеспечиваться с использованием горелки, которая расположена внутри повторного нагревателя, и с помощью которой происходит сжигание топлива в присутствии воздуха горения. Газ горения из камеры горения может подаваться в нижнюю часть райзера повторного нагревателя, где его смешивают с теплопроводящими частицами с образованием потока псевдоожижения внутри райзера повторного нагревателя.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения горение воздуха и топлива осуществляется в отдельной камере горения. Затем горячий газ горения может контактировать с частицами внутри райзера повторного нагревателя, в результате чего частицы поглощают тепло от газа горения. То, что камера горения расположена отдельно от входного отверстия для подачи частиц в повторный нагреватель имеет то преимущество, что таким образом может быть обеспечен более высокий тепловой КПД и низкий уровень эмиссии несгоревших углеводородов.

Специалистам известны ступенчатые горелки для сжигания топлива и воздуха, которые используются для снижения выбросов оксидов азота. Такие горелки также могут использоваться для осуществления настоящего изобретения. Другими способами снижения выбросов оксидов азота являются, например, рециркуляция части отработанного газа от выходного отверстия для отвода газа из повторного нагревателя в секцию горелки для снижения содержания кислорода в зоне пламени или поэтапная подача топлива и частиц в райзер повторного нагревателя для создания зон, в которых температура и содержание кислорода ниже и, следовательно, для уменьшения образования оксидов азота.

Подходящими видами топлива являются, например, природный газ, нефть, уголь, пирогаз, газ, полученный в процессе газификации, газы, содержащие водород и монооксид углерода, отходы производства и биомасса. Преимущество использования газообразного топлива состоит в том, что оно не содержит зольных веществ, следовательно, при этом отсутствуют проблемы, связанные с золой, таких как агломерация псевдоожиженного слоя, которая часто наблюдается при использовании, например, топлива из биомассы в твердом виде. В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения предпочтительным топливом является природный газ. Природный газ является более доступным видом топлива, и его сгорание относительно экологически безвредно по сравнению с другими видами топлива. Температура горения довольно высока. Следовательно, горение в камере горения может предпочтительно осуществляться отдельно от райзера повторного нагревателя, а подача газа горения в райзер повторного нагревателя может осуществляться таким образом, чтобы обеспечить необходимую температуру нагретых частиц на выходе.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения избыточный кислород из повторного нагревателя отделяется от частиц до того, как они поступают в реактор фрагментации. Это может дополнительно повысить выход продукта и чистоту продукта за счет минимизации побочных реакций оксигенатов с O_2 в реакторе фрагментации. Камера удаления частиц предпочтительно расположена по ходу процесса после сепаратора частиц повторного нагревателя, но перед входным отверстием для подачи частиц в реактор фрагментации.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения способ термолитической фрагментации осуществляют как непрерывный процесс. Это является преимуществом при промышленном применении.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения способ термолитической фрагмен-

тации осуществляют в инертной атмосфере, например, в атмосфере азота или пара.

В соответствии с одним аспектом настоящего изобретения предоставляется способ получения C_1 - C_3 гидроксисоединения из сахара, при этом указанный способ включает следующие этапы:

осуществление процесса термолитической фрагментации по настоящему изобретению с образованием неочищенного продукта фрагментации, содержащего C_1 - C_3 оксигенаты;

а затем гидрогенизацию неочищенного продукта фрагментации, с получением соответствующих C_1 - C_3 гидроксисоединений. Гидроксисоединениями C_1 - C_3 являются, например, этиленгликоль, пропиленгликоль и метанол.

Способ по настоящему изобретению может осуществляться в реакторе фрагментации, в котором теплопроводящие частицы находятся в псевдоожиженном слое, и в котором обеспечивается эффективная сепарация частиц после термолитической фрагментации и эффективный повторный нагрев теплопроводящих частиц.

Соответственно, согласно настоящему изобретению предоставляется система для фрагментации композиции на основе сахара, с получением C_1 - C_3 оксигенатов, причем эта система содержит реактор фрагментации, причем указанный реактор содержит следующие элементы:

райзер;

первый сепаратор частиц;

входное отверстие для подачи потока псевдоожижения;

входное отверстие для подачи частиц;

входное отверстие для подачи исходного сырья;

выходное отверстие для отвода частиц;

выходное отверстие для отвода продукта;

при этом райзер расположен внутри реактора фрагментации в нижней его части;

входное отверстие для подачи потока псевдоожижения и входное отверстие для подачи частиц расположены в нижней части райзера;

входное отверстие для подачи исходного сырья расположено в нижней части;

райзера над входным отверстием для подачи частиц;

райзер выполнен с возможностью псевдоожижения частиц;

первый сепаратор частиц расположен в верхней части райзера и выполнен с возможностью сепарации по меньшей мере части частиц из потока псевдоожижения, и

при этом реактор дополнительно содержит секцию охлаждения, расположенную ниже по потоку относительно первого сепаратора частиц, при этом указанная секция охлаждения выполнена с возможностью охлаждения потока псевдоожижения, покидающего первый сепаратор частиц, и система дополнительно содержит повторный нагреватель для повторного нагрева частиц, покидающих реактор фрагментации, а повторный нагреватель содержит входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения, горелку, входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель, райзер повторного нагревателя, сепаратор частиц повторного нагревателя, выходное отверстие для отвода газа из повторного нагревателя и выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя.

Преимуществом такого устройства является то, что в нем может осуществляться способ по настоящему изобретению, с использованием которого обеспечивается энергоэффективный способ получения неочищенного продукта фрагментации с высоким выходом C_1 - C_3 оксигенатов, и высоким выходом углерода в продукте фрагментации, таким образом, с помощью указанного устройства обеспечивается способ, который может использоваться для крупномасштабного производства, например, этиленгликоля и пропиленгликоля из сахаров. Данное устройство может быть использовано в непрерывном производстве C_1 - C_3 оксигенатов.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения система может дополнительно содержать второй сепаратор частиц внутри реактора, при этом второй сепаратор частиц расположен в верхней части реактора фрагментации и выполнен с возможностью дополнительной сепарации фракции частиц из потока псевдоожижения.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения резкое охлаждение в секции охлаждения осуществляют за счет введения жидкости в реактор фрагментации.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения резкое охлаждение в секции охлаждения осуществляют за счет подачи в реактор фрагментации потока частиц с более низкой температурой.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения секция охлаждения содержит прямой теплообменник.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения первый сепаратор частиц представляет собой сепаратор малого объема.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения первый сепаратор частиц содержит, по меньшей мере, один сепаратор с изменением направления потока.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения первый сепаратор частиц содержит по меньшей мере одну трубу, которая расположена таким образом, что один ее конец гидравлически соединен с верхней частью райзера, а второй направлен вниз и гидравлически соединен с реактором фраг-

ментации, при этом он находится внутри реактора фрагментации и выходит за пределы райзера.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения второй сепаратор частиц представляет собой по меньшей мере один циклон.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения горелка и входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения расположены по ходу процесса перед райзером повторного нагревателя, а входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель расположено в нижней части райзера повторного нагревателя по ходу процесса после горелки, и входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель гидравлически соединено с выходным отверстием для отвода частиц из реактора фрагментации, при этом райзер повторного нагревателя выполнен с возможностью повторного нагрева частиц, покидающих реактор фрагментации с использованием газа, нагретого в горелке.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения сепаратор частиц повторного нагревателя расположен по ходу процесса после райзера повторного нагревателя, а выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя гидравлически соединено с входным отверстием для подачи частиц в реактор фрагментации.

В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения в камере горения предусмотрена горелка. Она может быть отделена от райзера пережимом. Например, площадь поперечного сечения в таком суженном участке по меньшей мере на 25% меньше, чем площадь поперечного сечения райзера, расположенной выше, а длина суженного участка составляет по меньшей мере 0,5 м.

Краткое описание чертежей

Примеры вариантов осуществления настоящего изобретения будут поясняться со ссылкой на прилагаемые чертежи. Следует понимать, что прилагаемые чертежи иллюстрируют лишь примеры вариантов осуществления настоящего изобретения и, следовательно, не должны рассматриваться в качестве ограничения объема настоящего изобретения, так как изобретение может включать и иные альтернативные варианты осуществления изобретения.

На фиг. 1 представлен вид сбоку в разрезе реактора фрагментации в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

На фиг. 2 приведен вид сверху реактора фрагментации в соответствии с вариантом осуществления, изображение которого приведено на фиг. 1.

На фиг. 3 представлен вид в разрезе повторного нагревателя в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

На фиг. 4 представлен вид в разрезе системы, содержащей реактор фрагментации, который гидравлически соединен с нагревателем повторного нагрева, в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения.

Номера позиций:

1. Реактор фрагментации.
2. Райзер реактора фрагментации.
3. Первый сепаратор частиц.
4. Второй сепаратор частиц.
5. Секция охлаждения.
6. Входное отверстие для подачи потока псевдоожижения.
7. Входное отверстие для подачи частиц.
8. Входное отверстие для подачи исходного сырья.
9. Выходное отверстие для отвода продукта.
10. Выходное отверстие для отвода частиц.
11. Повторный нагреватель.
12. Входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения.
13. Камера горения.
14. Входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель.
15. Райзер повторного нагревателя.
16. Сепаратор частиц повторного нагревателя.
17. Выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя.
18. Выходное отверстие для отвода газа из повторного нагревателя.
19. Второй сепаратор частиц повторного нагревателя.
20. Камера удаления частиц.
21. Входное отверстие для подачи газа псевдоожижения в повторный нагреватель.
22. Второе входное отверстие для подачи газа псевдоожижения и отпарного газа в повторный нагреватель.

Подробное описание

Как показано на фиг. 1 и фиг. 4, реактор фрагментации по изобретению вытянут в вертикальном направлении. Внутри реактора фрагментации выполнен райзер 02, который относительно высоты имеет небольшую площадь поперечного сечения. Этим обеспечивается малое время пребывания частиц внутри райзера. В нижней части райзера предусмотрено входное отверстие 06 для подачи газа псевдоожижения,

которое предназначено для подачи среды псевдоожижения в райзер и отверстие 07 для подачи частиц. Среда псевдоожижения способствует движению частиц от отверстия для подачи частиц к отверстию для подачи исходного сырья по направлению к верхней части райзера. Кроме того, поток псевдоожижения можно использовать для предварительной обработки частиц перед тем, как частицы контактируют с исходным сырьем. Входное отверстие 08 для подачи исходного сырья, расположенное над входным отверстием для подачи частиц и потока псевдоожижения, обеспечивает подачу исходного сырья в райзер. В изображенном варианте осуществления изобретения входное отверстие для подачи исходного сырья расположено в нижней части райзера, однако его положение может варьироваться в зависимости от технологических требований.

После того, как произошло взаимодействие исходного сырья и частиц в райзере, осуществляют их сепарацию на выходе из райзера в первом сепараторе частиц 03. В соответствии с одним вариантом осуществления изобретения первый сепаратор частиц обеспечивает быстрое отделение частиц от продукта фрагментации, поскольку такое быстрое отделение является преимуществом для способа. Таким образом, сепаратор частиц может представлять собой сепаратор с малым временем пребывания. В соответствии с вариантом осуществления изобретения, показанным на фиг. 2 и фиг. 3, первый сепаратор частиц содержит выпускные трубы, которые вначале направлены вверх, когда поток поступает из райзера, а затем они меняют направление на 180° , и становятся направленными вниз внутри реактора фрагментации, при этом они находятся вне райзера; в контексте настоящего изобретения такой сепаратор именуется сепаратором частиц с изменением направления потока. В соответствии с вариантом осуществления изобретения, показанным на фиг. 4, первый сепаратор частиц содержит сепаратор газовых частиц, усиливающий выход газа и твердого вещества из райзера в тангенциальном направлении (относительно стенки элемента 1) в емкость 1; вследствие этого осуществляется сепарация. Часть частиц после выхода из первого сепаратора частиц оседает в нижней части реактора фрагментации. Соответственно, описанные признаки райзера, положение отверстия для подачи исходного сырья и малое время пребывания в первом сепараторе частиц обеспечивают малое время контакта частиц и исходного сырья, которое зависит также от параметров процесса, таких как объемный расход потока и габариты оборудования, которые все должны быть адаптированы к требованиям процесса.

Секция 05 охлаждения расположена внутри реактора фрагментации над первым сепаратором частиц, рядом с ним. В соответствии с настоящим вариантом осуществления изобретения секция охлаждения включает этап резкого охлаждения, на котором происходит впрыскивание охлаждающей среды, такой как вода или поток рециркуляции, которая быстро и эффективно охлаждает продукт путем испарения. В секции охлаждения могут использоваться также другие варианты, например, резкое охлаждение путем введения потока частиц или использование не прямых теплообменников, в результате чего может быть снижено общее энергопотребление системы реактора фрагментации. Быстрое охлаждение продукта может иметь существенное значение для процесса для обеспечения высокого выхода, так как продукт может быть чувствительным к длительному воздействию повышенных температур.

После охлаждения продукт отводят из реактора фрагментации через выходное отверстие 09 для отвода продукта. В варианте осуществления, показанном на фиг. 1 и фиг. 4, в реакторе фрагментации предусмотрен дополнительный второй сепаратор 04 частиц, который предназначен для дополнительного отделения фракции частиц от потока продукта перед отводом продукта. В этой секции реактора фрагментации продукт уже охлажден, следовательно, время пребывания имеет меньшее значение. Предусматривается второй сепаратор частиц, например, циклон, при этом указанный второй сепаратор частиц обеспечивает более высокую эффективность сепарации, по сравнению с сепаратором с изменением направления потока в отдельности (элемент 03). Выходное отверстие циклона для отвода газа соединено с выходным отверстием для отвода продукта, при этом частицы из выходного отверстия циклона подают в нижнюю часть реактора (01) фрагментации, где их поддерживают в псевдоожиженном состоянии с использованием входного отверстия (21) для газа псевдоожижения. Распределение газа псевдоожижения по поперечному сечению обеспечивается, например, с помощью рассеивателей. В нижней части реактора фрагментации осуществляют отвод отработанных частиц через выходное отверстие 10 для отвода частиц, которые затем подают в другой реактор для повторного нагрева.

На фиг. 2 приведен вид сверху реактора фрагментации в соответствии с вариантом осуществления, изображение которого приведено на фиг. 1, и в соответствии с описанием для варианта осуществления, приведенным выше. Как показано, райзер расположен в центре горизонтального поперечного сечения реактора фрагментации. Кроме того, показано множество выходных труб, которые образуют первый сепаратор частиц, а также второй сепаратор частиц, который расположен в стороне от центра реактора фрагментации.

На фиг. 1 и фиг. 2 внутри реактора фрагментации размещен второй сепаратор частиц. Вторым сепаратором частиц может содержать один или несколько циклонов. В соответствии с другими вариантами осуществления изобретения, которые не показаны, эти циклоны также могут быть размещены вне реактора фрагментации, например, выше реактора фрагментации, с опускными трубами, проходящими через крышу реактора фрагментации, или сбоку от реактора фрагментации с наклонными с опускными трубами, или в них может использоваться, например, уплотнение контура или L-клапан. Если вторые циклоны

размещены вне корпуса реактора, время пребывания оксигенатного продукта в реакторе фрагментации может быть уменьшено. В варианте осуществления изобретения, приведенном на фиг. 4, на реакторе фрагментации размещены внешние циклоны.

На фиг. 3 и фиг. 4 показан повторный нагреватель 11 для повторного нагрева частиц, покидающих реактор фрагментации. Входное отверстие 14 для подачи частиц в повторный нагреватель гидравлически соединено с выходным отверстием 10 для отвода частиц из реактора фрагментации, а выходное отверстие 17 для отвода частиц из повторного нагревателя гидравлически соединено с входным отверстием 7 для подачи частиц в реактор фрагментации. Повторный нагреватель дополнительно содержит псевдоожиженный слой типа райзера, райзер 15 повторного нагревателя с камерой 13 горения, которая гидравлически соединена с нижней частью райзера. Через входное отверстие 12 для подачи топлива и воздуха горения осуществляют подачу топлива и воздуха горения в горелку, в ходе функционирования которой осуществляют подачу тепла в райзер повторного нагревателя. Входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель расположено в нижней части райзера повторного нагревателя, при этом частицы, покидающие реактор фрагментации, попадают в райзер повторного нагревателя, где происходит их псевдоожижение в направленном вверх потоке с помощью горячего газа, который подают из камеры горения при нагреве. Соединение между горелкой и входным отверстием для подачи частиц в повторный нагреватель предназначено для того, чтобы снизить/предотвратить выпадение частиц из райзера в камеру горения. Эта конструкция может реализовываться различными способами. На фиг. 3 и фиг. 4 показан пережим между элементами 13 и 15, этот пережим обеспечивает увеличение скорости газа, что снижает/предотвращает выпадение частиц. После повторного нагрева частицы отделяют от газа горения и подают обратно в реактор фрагментации. В варианте осуществления, показанном на фиг. 3, сепаратор 16 частиц повторного нагревателя представляет собой циклон, который обеспечивает отвод газа из повторного нагревателя через выходное отверстие 18 для отвода газа из повторного нагревателя, при этом отделенные частицы выходят из повторного нагревателя через выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя, которое соединено с выходным отверстием для отвода частиц из циклона повторного нагревателя. Следует понимать, что степень сепарации в сепараторах частиц зависит от различных параметров процесса, известных специалистам, таких как перепад давления в сепараторе, скорости потока, размер частиц и т.д.

В варианте осуществления, показанном на фиг. 4, первый сепаратор частиц аналогичен элементу 03 реактора фрагментации. В варианте осуществления 4 система также оборудована вторым сепаратором (19) частиц циклонного типа. С помощью обоих сепараторов частицы осуществляют подачу частиц в нижнюю часть элемента 11. В самой нижней части элемента 11 расположена секция (20) для удаления псевдоожиженных частиц из избыточного O_2 . Осуществляют распределение вдоль всего поперечного сечения потоков, поступающих через вторые входные отверстия (22) для подачи газа псевдоожижения и отпарного газа для элементов 11 и 20 в соответствии с вариантом осуществления, показанным на фиг. 4, с помощью рассеивателей или с использованием других способов. В элементе 11 на фиг. 4 могут присутствовать дополнительные входные отверстия для газа псевдоожижения, однако они не показаны. Кроме того, предусматривается отгонка газообразного продукта непосредственно перед или после элемента (10) на фиг. 4.

Пример

Пример 1. Получение смеси C_1 - C_3 оксигенатов, богатой гликолевым альдегидом, путем термолитической фрагментации раствора сахара.

Фрагментация водного раствора глюкозы демонстрировалась в реакторной установке типа райзера. Входное отверстие для подачи частиц было расположено перед входным отверстием для подачи исходного сырья. Поверхностная скорость газа в райзере составляла приблизительно 6 м/с. Длина реактора восходящего потока составляла 6,2 м при внутреннем диаметре 41 мм. После райзера расположены два циклона, и отделенные твердые частицы поступали во внешний реактор для повторного подогрева. Время пребывания продукта фрагментации составило приблизительно 1 с от отверстия подачи исходного сырья до первого сепаратора частиц.

Для сбора газообразного продукта часть потока газа, выходящего из второго циклона, подавалась в систему конденсации. Жидкий продукт быстро конденсировался путем непрямого охлаждения при 1°C и отделялся от постоянных газов. Поток постоянных газов измерялся с помощью расходомера переменного сечения.

Концентрация оксигенатов в жидком продукте определялась путем ВЭЖХ, выход рассчитывался исходя из того, что 8 мас.% исходного сырья было потеряно с постоянными газами из-за неполной конденсации воды, то есть с использованием массового баланса 92%. Считается, что это консервативное, но обоснованное предположение, которое основано на предыдущем опыте.

Исходя из этого консервативного предположения, приблизительно 60% углерода, которое подают в реактор, было получено в виде гликолевого альдегида путем термолитической фрагментации 45 мас.% раствора глюкозы приблизительно при 500°C . В качестве материала слоя использовали шарики из натриевого стекла.

Варианты осуществления изобретения

Вариант осуществления 1.

Способ термолитической фрагментации сахара с получением C_1 - C_3 оксигенатов, при этом указанный способ включает следующие этапы:

- a) предоставление теплопроводящих частиц, пригодных для псевдоожижения;
- b) предоставление реактора фрагментации с псевдоожиженным слоем, содержащего райзер, и пригодного для осуществления термолитической фрагментации, и пригодного для псевдоожижения потока частиц;
- c) предоставление раствора исходного сырья, содержащего сахар;
- d) подачу частиц в реактор со скоростью подачи, достаточной для поддержания температуры по меньшей мере 250°C, например, по меньшей мере 300, 350, 400 или 450°C, после того как произошла термолитическая фрагментация, и достаточной для получения псевдоожиженного потока частиц;
- e) подачу исходного сырья в псевдоожиженный поток частиц для обеспечения термолитической фрагментации сахара с получением продукта фрагментации с большой концентрацией частиц; затем
- f) сепарацию фракции частиц из продукта фрагментации с большой концентрацией частиц с получением продукта фрагментации с малой концентрацией частиц;
- g) резкое охлаждение продукта фрагментации с малой концентрацией частиц по меньшей мере на 50°C, чтобы от момента подачи исходного сырья в поток псевдоожижения, содержащий частицы, до резкого охлаждения среднее время пребывания газа составило максимум 5 с, например, максимум 3 с, например, максимум 2, 1, 0,8 или 0,6 с;
- h) получение неочищенного продукта фрагментации;
- i) перемещение частиц, отделенных на этапе f), в повторный нагреватель для нагрева; и
- j) рециркуляцию нагретых частиц в реактор фрагментации.

Вариант осуществления 2.

Способ в соответствии с вариантом 1 осуществления изобретения, отличающийся тем, что продукт фрагментации с малой концентрацией частиц проходит этап второй сепарации частиц после этапа g), на котором происходит резкое охлаждение продукта фрагментации с малой концентрацией частиц, и перед этапом h), на котором происходит получение неочищенного продукта фрагментации.

Вариант осуществления 3.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1 или 2 осуществления изобретения, отличающийся тем, что реактор в нижней части содержит входное отверстие для подачи частиц и входное отверстие для подачи исходного сырья, при этом входное отверстие для подачи исходного сырья расположено по ходу процесса после отверстия для подачи частиц.

Вариант осуществления 4.

Способ в соответствии с вариантом 3 осуществления изобретения, отличающийся тем, что реактор в нижней части дополнительно содержит входное отверстие для подачи потока псевдоожижения, при этом входное отверстие для подачи потока псевдоожижения расположено перед входным отверстием для подачи частиц.

Вариант осуществления 5.

Способ в соответствии с любым из вариантов изобретения 3 или 4 осуществления изобретения, отличающийся тем, что частицы образуют плотнофазный псевдоожиженный слой в зоне между входным отверстием для подачи частиц и входным отверстием для подачи исходного сырья.

Вариант осуществления 6.

Способ в соответствии с любым из вариантов 3-5 осуществления изобретения, отличающийся тем, что входное отверстие для подачи исходного сырья выполняют в нижней части райзера.

Вариант осуществления 7.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-5 осуществления изобретения, отличающийся тем, что реактор содержит первый сепаратор частиц по ходу процесса после райзера.

Вариант осуществления 8.

Способ в соответствии с вариантом 7 осуществления изобретения, отличающийся тем, что реактор содержит этап резкого охлаждения по ходу процесса после первого сепаратора частиц.

Вариант осуществления 9.

Способ в соответствии с вариантом 8 осуществления изобретения, отличающийся тем, что реактор после этапа резкого охлаждения содержит второй сепаратор частиц.

Вариант осуществления 10.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-9 осуществления изобретения, отличающийся тем, что реактор не содержит иных средств нагрева, помимо теплопроводящих частиц.

Вариант осуществления 11.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-10 осуществления изобретения, отличающийся тем, что сахар представляет собой моно- и/или дисахарид.

Вариант осуществления 12.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-11 осуществления изобретения, отличающийся тем,

что раствор исходного сырья содержит водный раствор сахара, выбранного из группы, состоящей из сахарозы, лактозы, ксилозы, арабинозы, рибозы, маннозы, тагатозы, галактозы, глюкозы и фруктозы; или их смесей.

Вариант осуществления 13.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-12 осуществления изобретения, отличающийся тем, что концентрация сахара в растворе исходного сырья находится в диапазоне 10-90 мас. %.

Вариант осуществления 14.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-13 осуществления изобретения, отличающийся тем, что температура частиц на подаче частиц в реактор фрагментации предпочтительно составляет по меньшей мере 300°C, например, по меньшей мере 400, 450, 500, 550, 600 или 650°C.

Вариант осуществления 15.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-14 осуществления изобретения, отличающийся тем, что температура частиц на подаче находится в диапазоне 300-800°C, например, в диапазоне 400-800 или 450-650°C.

Вариант осуществления 16.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-15 осуществления изобретения, отличающийся тем, что частицы выбраны из группы материалов, состоящей из песка, диоксида кремния, стекла, оксида алюминия, стали и карбида кремния.

Вариант осуществления 17.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-16 осуществления изобретения, отличающийся тем, что средний размер теплопроводящих частиц составляет 20-400 мкм, например, 20-300, 20-200 или 20-100 мкм.

Вариант осуществления 18.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-17 осуществления изобретения, отличающийся тем, что частицы, полученные на этапе а), подаются в реактор фрагментации при массовой скорости потока по меньшей мере 10 кг/с.

Вариант осуществления 19.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-18 осуществления изобретения, отличающийся тем, что скорость в райзере реактора фрагментации над входным отверстием для подачи исходного сырья превышает 2 м/с, например составляет 3-22 м/с или 5-20 м/с.

Вариант осуществления 20. Способ в соответствии с любым из вариантов 1-19 осуществления изобретения, отличающийся тем, что повторный нагреватель содержит входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения, горелку, входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель, райзер повторного нагревателя, сепаратор частиц повторного нагревателя, выходное отверстие для отвода отработанного газа из повторного нагревателя и выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя.

Вариант осуществления 21. Способ в соответствии с любым из вариантов 1-20 осуществления изобретения, отличающийся тем, что температура частиц на выходе из выходного отверстия для отвода частиц из повторного нагревателя находится в диапазоне 300-800°C, например, в диапазоне 400-800, 400-700 или 500-700°C.

Вариант осуществления 22.

Способ в соответствии с любым из вариантов 20 или 21 осуществления изобретения, отличающийся тем, что горелку устанавливают внутри камеры горения, которая отделена от райзера повторного нагревателя, а газ горения из камеры горения подают в райзер повторного нагревателя.

Вариант осуществления 23.

Способ в соответствии с любым из вариантов 20-22 осуществления изобретения, отличающийся тем, что часть отработанного газа из повторного нагревателя после удаления частиц подают обратно в камеру горения.

Вариант осуществления 24.

Способ в соответствии с любым из вариантов 1-23 осуществления изобретения, отличающийся тем, что избыточный кислород отделяют от частиц перед их перемещением из повторного нагревателя в реактор фрагментации.

Вариант осуществления 25.

Способ получения C₁-C₃ гидроксисоединения из сахара, при этом указанный способ включает следующие этапы: осуществление процесса в соответствии с любым из вариантов 1-24 осуществления изобретения; и затем гидрогенизацию неочищенного продукта фрагментации, с получением соответствующих C₁-C₃ гидроксисоединений.

Вариант осуществления 26.

Система для фрагментации композиции на основе сахара, с получением C₁-C₃ оксигенатов, содержащая реактор фрагментации, причем указанный реактор содержит следующие элементы: райзер; первый сепаратор частиц; входное отверстие для подачи потока псевдоожижения; входное отверстие для подачи частиц; входное отверстие для подачи исходного сырья; выходное отверстие для отвода частиц;

выходное отверстие для отвода продукта; при этом райзер расположен внутри реактора фрагментации в нижней его части; а входное отверстие для подачи потока псевдоожижения и входное отверстие для подачи частиц расположены в нижней части райзера; входное отверстие для подачи исходного сырья расположено в нижней части райзера; над входным отверстием для подачи частиц в райзере осуществляют псевдоожижение частиц; первый сепаратор частиц расположен в верхней части райзера и выполнен с возможностью сепарации по меньшей мере части частиц из потока псевдоожижения, и при этом реактор фрагментации дополнительно содержит секцию охлаждения, расположенную по ходу процесса после первого сепаратора частиц относительно газового потока, при этом указанная секция охлаждения выполнена с возможностью охлаждения потока псевдоожижения, покидающего первый сепаратор частиц, и система дополнительно содержит повторный нагреватель для повторного нагрева частиц, покидающих реактор фрагментации, а повторный нагреватель содержит входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения, горелку, входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель, райзер повторного нагревателя, сепаратор частиц повторного нагревателя, выходное отверстие для отвода газа из повторного нагревателя и выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя.

Вариант осуществления 27.

Система в соответствии с вариантом 26 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что реактор фрагментации дополнительно содержит второй сепаратор частиц внутри реактора фрагментации, при этом второй сепаратор частиц расположен в верхней части реактора фрагментации и выполнен с возможностью дополнительной сепарации фракции частиц из потока псевдоожижения.

Вариант осуществления 28.

Система в соответствии с любым из вариантов 26 или 27 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что секция охлаждения выполнена с возможностью резкого охлаждения путем введения жидкости в реактор фрагментации.

Вариант осуществления 29.

Система в соответствии с любым из вариантов 26 или 27 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что резкое охлаждение в секции охлаждения осуществляют за счет подачи в реактор фрагментации потока частиц с более низкой температурой.

Вариант осуществления 30.

Система в соответствии с любым из вариантов 26 или 27 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что секция охлаждения включает непрямой теплообменник.

Вариант осуществления 31.

Система в соответствии с любым из вариантов 26-30 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что первый сепаратор частиц представляет собой сепаратор малого объема.

Вариант осуществления 32.

Система в соответствии с любым из вариантов 26-31 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что первый сепаратор частиц содержит по меньшей мере один сепаратор с изменением направления потока.

Вариант осуществления 33.

Система в соответствии с любым из вариантов 26-32 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что первый сепаратор частиц содержит по меньшей мере одну трубу, которая расположена таким образом, что один ее конец гидравлически соединен с верхней частью райзера, а второй направлен вниз и гидравлически соединен с реактором фрагментации, при этом он выходит за пределы райзера.

Вариант осуществления 34.

Система в соответствии с любым из вариантов 27-33 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что второй сепаратор частиц представляет собой по меньшей мере один циклон.

Вариант осуществления 35.

Система в соответствии с любым из вариантов 26-34 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что горелка и входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения в повторный нагреватель расположены по ходу процесса перед райзером повторного нагревателя, а входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель расположено в нижней части райзера повторного нагревателя по ходу процесса после горелки, и входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель гидравлически соединено с выходным отверстием для отвода частиц из реактора фрагментации, при этом райзер повторного нагревателя выполнен с возможностью повторного нагрева частиц, покидающих реактор фрагментации с использованием газа горения из камеры горения.

Вариант осуществления 36.

Система в соответствии с любым из вариантов 26-35 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что сепаратор частиц повторного нагревателя расположен по ходу процесса после райзера повторного нагревателя, а выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя гидравлически соединено с входным отверстием для подачи частиц в реактор фрагментации.

Вариант осуществления 37.

Система в соответствии с любым из вариантов 26-36 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что горелка расположена в отдельной камере горения.

Вариант осуществления 38.

Система в соответствии с любым вариантом 37 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что камера горения отделена от райзера пережимом.

Вариант осуществления 39.

Система в соответствии с любым из вариантов 26-38 осуществления изобретения, отличающаяся тем, что камера удаления частиц расположена по ходу процесса после сепаратора частиц повторного нагревателя, но перед входным отверстием для подачи частиц в реактор фрагментации.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ термолитической фрагментации сахара с получением C_1 - C_3 оксигенатов, при этом указанный способ включает следующие этапы:

а) подачу теплопроводящих псевдоожижаемых частиц в реактор фрагментации с псевдоожиженным слоем, содержащим райзер, и пригодный для осуществления термолитической фрагментации и для псевдоожижения потока частиц со скоростью подачи, достаточной для поддержания температуры по меньшей мере 250°C после того как произошла термолитическая фрагментация и достаточной для получения псевдоожиженного потока частиц;

б) подачу раствора исходного сырья, содержащего сахар, в псевдоожиженный поток частиц для осуществления термолитической фрагментации сахара с получением продукта фрагментации с большой концентрацией частиц; затем

с) сепарацию фракции частиц из продукта фрагментации с большой концентрацией частиц с получением продукта фрагментации с малой концентрацией частиц;

д) резкое охлаждение продукта фрагментации с малой концентрацией частиц по меньшей мере на 50°C , чтобы от момента подачи исходного сырья в поток псевдоожижения, содержащий частицы, до резкого охлаждения среднее время пребывания образовавшегося газа составило максимум 5 с;

е) извлечение неочищенного продукта фрагментации,

ф) перемещение частиц, отделенных на этапе с), в повторный нагреватель для нагрева; и

г) рециркуляцию нагретых частиц в реактор фрагментации.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что на этапе а) поддерживают температуру, составляющую по меньшей мере 300, 350, 400 или 450°C .

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что на этапе д) среднее время пребывания газа составляет максимум 3, 2, 1, 0,8 или 0,6 с.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что входное отверстие для подачи исходного сырья расположено в нижней части райзера.

5. Способ по любому из пп.1-4, отличающийся тем, что реактор содержит первый сепаратор частиц ниже по потоку относительно райзера.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что реактор содержит этап резкого охлаждения ниже по потоку относительно первого сепаратора частиц.

7. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что сахар представляет собой моно- и/или дисахарид.

8. Способ по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что раствор исходного сырья содержит водный раствор сахара, выбранного из группы, состоящей из сахарозы, лактозы, ксилозы, арабинозы, рибозы, маннозы, тагатозы, галактозы, глюкозы и фруктозы; или их смесей.

9. Способ по любому из пп.1-8, отличающийся тем, что концентрация сахара в растворе исходного сырья находится в диапазоне 10-90 мас. %.

10. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что температура частиц во входном отверстии для частиц в реактор фрагментации предпочтительно составляет по меньшей мере 300°C , например, по меньшей мере 400, 450, 500, 550, 600 или 650°C .

11. Способ по любому из пп.1-10, отличающийся тем, что повторный нагреватель содержит входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения, горелку, входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель, райзер повторного нагревателя, сепаратор частиц повторного нагревателя, выходное отверстие для отвода отработанного газа из повторного нагревателя и выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя.

12. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что температура частиц при выходе из выходного отверстия для отвода частиц из повторного нагревателя находится в диапазоне 300 - 800°C , например, в диапазоне 400-800, 400-700 или 500 - 700°C .

13. Способ по любому из пп.11 или 12, отличающийся тем, что горелку устанавливают внутри камеры горения, которая отделена от райзера повторного нагревателя, а газ горения из камеры горения подают в райзер повторного нагревателя.

14. Способ по любому из пп.1-13, отличающийся тем, что избыточный кислород отделяют от частиц перед их перемещением из повторного нагревателя в реактор фрагментации.

15. Способ получения C_1 - C_3 гидроксисоединения из сахара, включающий осуществление способа

по любому из пп.1-14; и затем гидрогенизацию неочищенного продукта фрагментации, с получением соответствующих C_1 - C_3 гидроксисоединений.

16. Система для фрагментации композиции на основе сахара с получением C_1 - C_3 оксигенатов, содержащая реактор фрагментации, причем указанный реактор содержит следующие элементы:

- райзер,
- первый сепаратор частиц,
- входное отверстие для подачи потока псевдооживления,
- входное отверстие для подачи частиц,
- входное отверстие для подачи исходного сырья,
- выходное отверстие для отвода частиц,
- выходное отверстие для отвода продукта,

при этом райзер расположен внутри реактора фрагментации и в нижней его части; а входное отверстие для подачи потока псевдооживления и входное отверстие для подачи частиц расположены в нижней части райзера; входное отверстие для подачи исходного сырья расположено в нижней части райзера над входным отверстием для подачи частиц; райзер выполнен с возможностью псевдооживления частиц в райзере; и первый сепаратор частиц расположен в верхней части райзера и выполнен с возможностью сепарации по меньшей мере части частиц из потока псевдооживления, и

при этом реактор фрагментации дополнительно содержит секцию охлаждения, расположенную ниже по потоку относительно первого сепаратора частиц, при этом указанная секция охлаждения выполнена с возможностью охлаждения потока псевдооживления, покидающего первый сепаратор частиц, и система дополнительно содержит повторный нагреватель для повторного нагрева частиц, покидающих реактор фрагментации, а повторный нагреватель содержит входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения, горелку, входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель, райзер повторного нагревателя, сепаратор частиц повторного нагревателя, выходное отверстие для отвода газа из повторного нагревателя и выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя.

17. Система по п.16, отличающаяся тем, что секция охлаждения выполнена с возможностью резкого охлаждения путем введения жидкости в реактор фрагментации.

18. Система по п.16 или 17, отличающаяся тем, что первый сепаратор частиц представляет собой сепаратор малого объема.

19. Система по любому из пп.16-18, отличающаяся тем, что первый сепаратор частиц содержит по меньшей мере один сепаратор с изменением направления потока.

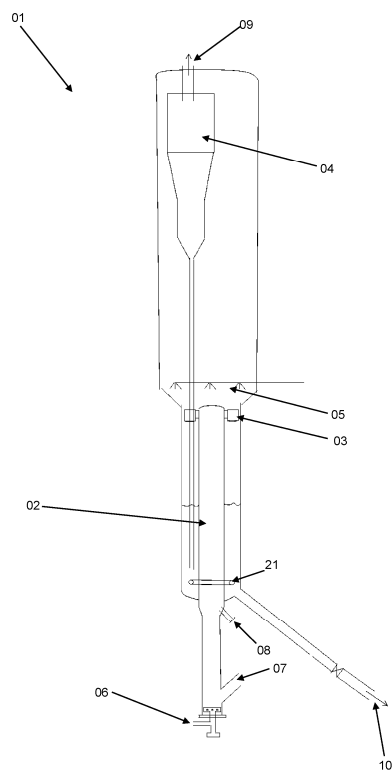
20. Система по любому из пп.16-19, отличающаяся тем, что горелка и входное отверстие для подачи топлива и воздуха горения в повторный нагреватель расположены выше по потоку относительно райзера повторного нагревателя, а входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель расположено в нижней части райзера повторного нагревателя ниже по потоку относительно горелки, и входное отверстие для подачи частиц в повторный нагреватель соединено по потоку с выходным отверстием для отвода частиц из реактора фрагментации, при этом райзер повторного нагревателя выполнен с возможностью повторного нагрева частиц, покидающих реактор фрагментации с использованием газа горения из горелки.

21. Система по любому из пп.16-20, отличающаяся тем, что сепаратор частиц повторного нагревателя расположен ниже по потоку относительно райзера повторного нагревателя, а выходное отверстие для отвода частиц из повторного нагревателя соединено по потоку с входным отверстием для подачи частиц в реактор фрагментации.

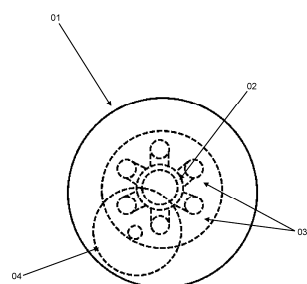
22. Система по любому из пп.16-21, отличающаяся тем, что горелка расположена в отдельной камере горения.

23. Система по п.22, отличающаяся тем, что камера горения отделена от райзера пережимом.

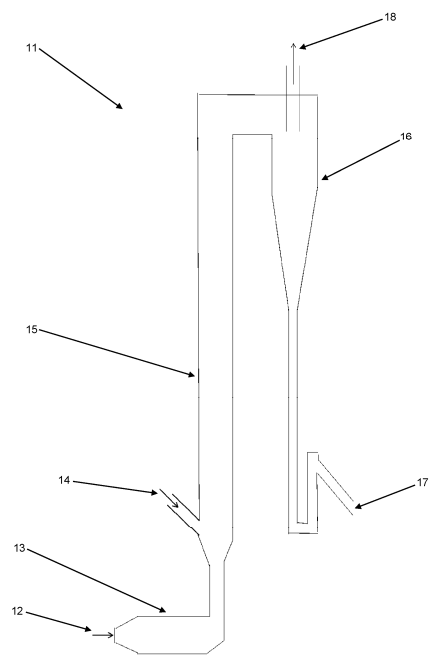
24. Система по любому из пп.16-23, отличающаяся тем, что камера удаления частиц расположена ниже по потоку относительно сепаратора частиц повторного нагревателя, но выше по потоку относительно входного отверстия для подачи частиц в реактор фрагментации.



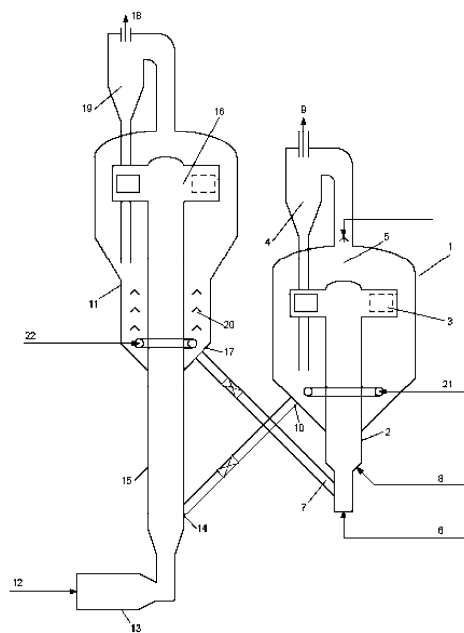
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

