(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 040591 (13) B1

# (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
**2022.06.29**

(21) Номер заявки
**202192456**

(22) Дата подачи заявки
**2021.10.07**

(51) Int. Cl. ***C02F 11/06*** (2006.01)
***C02F 11/18*** (2006.01)
***F23C 10/01*** (2006.01)
***F23C 7/00*** (2006.01)
***F23C 13/08*** (2006.01)

## (54) УСТАНОВКА ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ВИДЕ ИЛОВОГО ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД И СПОСОБ, РЕАЛИЗУЕМЫЙ ЭТОЙ УСТАНОВКОЙ

(31) **2020136580; 2020136581**
(32) **2020.11.08**
(33) **RU**
(43) **2022.05.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "РВК. КАТАЛИЗ" (ООО "РВК. КАТАЛИЗ") (RU)**

(72) Изобретатель:
**Бухтияров Валерий Иванович, Дубинин Юрий Владимирович, Леонова Анна Александровна, Михальков Антон Юрьевич, Федоров Игорь Анатольевич, Шелест Сергей Николаевич, Яковлев Вадим Анатольевич (RU)**

(74) Представитель:
**Левкин А.Ю. (RU)**

(56) А.Д. СИМОНОВ и др.: "Опыт эксплуатации водогрейных котлов с каталитическим сжиганием жидкого и твердого топлива в псевдоожиженном слое", Альтернативная энергетика и экология [онлайн], 15.10.2014 <doi: 10.15518/isjaee.2014.19.009>, с. 70-74

А.Д. СИМОНОВ и др.: "Каталитическое сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства" Химия в интересах устойчивого развития [онлайн], 01.02.2010 <https: // www.sibran.ru/upload/iblock/577/ 57756e74635958b77fcb26754613f819.pdf> УДК 66.096.5:628.336.71, с. 749-753

RU-C1-2456248
RU-C1-2568978
RU-C2-2536510
US-5050375

(57) Изобретение относится к устройствам и способам сжигания влажных иловых осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений, содержащих органические вещества, а также технологическому процессу каталитического сжигания влажных иловых осадков сточных вод в реакторе с псевдоожиженным слоем катализатора. Сущность изобретения заключается в установке для каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод и каталитическом реакторе этой установки. Технический результат, на достижение которого направлено изобретение, заключается в улучшении эксплуатационных характеристик установки для каталитического сжигания топлива в виде илового осадка.

040591 B1

040591 B1

Изобретение относится к устройствам и способам сжигания влажных иловых осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений, содержащих органические вещества, а также технологическому процессу каталитического сжигания влажных иловых осадков сточных вод в реакторе с псевдоожиженным слоем катализатора.

Известна установка с инертным кипящим слоем для утилизации углеродосодержащих отходов в городских очистных сооружениях которая содержит котельную установку, топку кипящего слоя и газомоторную электростанцию с трубопроводом выхлопных газов. Дутьевой вентилятор высокого давления со смесительной камерой свежего воздуха и горячих дымовых газов, к которой присоединен трубопровод выхлопных газов газомоторной электростанции, коробчатый воздухонагреватель, через который посредством указанного вентилятора горячая газовоздушная смесь поступает в топку кипящего слоя для сжигания над раскаленным инертным кипящим слоем мокрого углеродосодержащего осадка сточных вод, осадительную камеру, расположенную над топкой кипящего слоя с сечением, превышающим сечение указанной топки, и боковые карманы для приема золошлаковых отходов из осадительной камеры со шнековыми разгрузчиками. При падении мокрого осадка сточных вод на раскаленную поверхность кипящего слоя вода мгновенно испаряется, а твердые частички интенсивно сгорают. Образующиеся золошлаковые отходы оседают в разгрузочных боковых карманах за счет увеличенного по сравнению с камерой кипящего слоя сечения осадительной камеры и удаляются из топки с помощью шнековых разгрузчиков. Несгоревшие мельчайшие частички топлива и несгоревшие горючие газы сгорают в камере дожигания [RU 2351847, дата публикации: 10.04.2009 г., МПК: F23G 5/30, F23C 10/00].

Недостатком известного технического решения является горение в слое инертного материала. Реализация процесса в таком режиме приводит к образованию огромного количество токсичных веществ в отходящих газах, что, как следствие, ведет к необходимости создания сложных и дорогих систем очистки. Кроме того, применение инертного материала обуславливает реализацию процесса в области высоких температур (не менее 800-1000°C), что обуславливает большую материалоемкость конструкций, а также повышенные требования к самим материалам.

Известен способ переработки осадков сточных вод, содержащих органические вещества (патент RU № 2568978), в котором обезвоженный осадок высушивают до влажности 1-2% в верхней части дополнительного реактора при контакте с псевдоожиженным слоем смеси дисперсных частиц катализатора и инертного материала при температуре 100-200°C. После отделения от парогазовой смеси около 60% осадка с влажностью 1-2% обрабатывают при температуре 700-750°C в нижней части реактора в псевдоожиженном слое смеси дисперсных частиц катализатора и инертного материала, организованном последовательно неподвижной насадкой и решеткой с параметрами ячеек, обеспечивающими градиент температур между непрерывным псевдоожиженным слоем над решеткой и под решеткой 500-550°C. Термообработку оставшейся части осадка проводят в основном реакторе при температуре 500-750°C в организованном неподвижной насадкой псевдоожиженном слое смеси дисперсных частиц катализатора и инертного материала [RU 2568978, дата публикации: 20.11.2015, МПК: C02F 11/06, F23C 10/01].

Недостатком известного технического решения является наличие дополнительной стадии предварительной сушки, что приводит к усложнению технологической цепочки, существенно большим энергозатратам и сложности контроля каждой стадии процесса. Кроме того, в качестве инертного материала слоя в рассмотренных способах применяется речной песок. Речной песок и частицы катализатора не являются полностью однородной смесью, а также обладают разными прочностными характеристиками, что приводит к возможности появления неоднородностей распределения катализатора по слою, а также к более высокой скорости истирания.

В качестве прототипа выбрана установка, включающая три реакторных блока, систему подачи твёрдого топлива со шнековым дозатором, устройство подачи жидкого топлива, систему розжига на жидком топливе, ротационно-поршневой компрессор для подачи воздуха для ожижения слоя катализатора и окисления топлива, экономайзер, систему очистки дымовых газов от пыли (циклон и рукавный фильтр), при этом дымовые газы после циклонов и фильтров сбрасывают в общую дымовую трубу, а из циклонов и фильтров уловленная зола попадает в трубный конвейер, по которому подаётся в бункер-накопитель [Источник: статья "Опыт эксплуатации водогрейных котлов с каталитическим сжиганием жидкого и твердого топлива в псевдоожиженном слое. ", авторы: А. Д. Симонов, Н.А. Языков, А.С. Афлятунов, И.А. Федоров, В.А. Яковлев, В.Н. Пармон; журнал "Альтернативная энергетика и экология". 2014. №19(159), с. 70-85. Дата публикации: 31.12.2014 г.].

Недостатком прототипа являются большие габариты теплогенератора и высокий расход электроэнергии; при сжигании топлива с высоким содержанием общей влаги, за счет увеличения скорости газов по сечению аппарата при образовании дополнительно паров воды увеличивается вынос частиц катализатора, что приводит к увеличению расхода катализатора. Кроме того, отсутствует возможность подачи в осадок воды. Поскольку осадок представляет собой неоднородную массу, то может возникнуть ситуация, при которой влажность осадка будет ниже рабочего значения (75%), что приведет к разогреву слоя. В рассмотренном изобретении охлаждение слоя осуществляется путем слива его части из реактора, что является неоптимальным и затратным. Кроме того, в рассмотренной установке отсутствует узел осажде-

ния пара (мокрый скруббер), что приводит к повышенному уровню выбросов пара в атмосферу. Кроме того, недостатком прототипа также является подача воздуха в распределительное устройство из одной точки, при этом представленное распределительное устройство обладает повышенной металлоемкостью за счет наличия общего коллектора, объединяющего все трубы.

Техническая проблема, на решение которой направлена изобретение, заключается в разработке способа и установки для утилизации иловых осадков сточных вод, эффективно использующей тепло при сжигании осадков, с обеспечением экологической безопасности отходящих дымовых газов, позволяющей проводить процесс в непрерывном режиме и позволяющей уменьшить расход катализатора полного окисления, а также в повышении эффективности процесса утилизации иловых осадков сточных вод в условиях кипящего слоя.

Технический результат, на достижение которого направлена изобретение, заключается в повышении равномерности кипения слоя, обеспечении вывода крупных включений, образованных при сжигании иловых осадков сточных вод из зоны кипящего слоя с дальнейшим удалением из реактора без его остановки, в уменьшении выноса материала и катализатора, их налипания на отбойник при работе без изменений перепада давления на устройстве отбойника, в обеспечении возможности использования высоко активного катализатора глубокого окисления, который влияет на степень выгорания иловых осадков коммунальных очистных сооружений в процессе их сжигания и концентрацию вредных веществ в отходящих газах, в обеспечении возможности эффективного осаждения пара и нейтрализации кислых газов в одном устройстве - мокром вихревом скруббере.

Сущность первого изобретения из группы изобретений заключается в следующем.

Установка для каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод в отличие от прототипа включает каталитический реактор для утилизации иловых осадков сточных вод, в котором в верхней части корпуса расположен патрубок для подачи катализатора, а под крышкой с трубой вывода дымовых газов расположен отбойник, выполненный в форме полого усечённого конуса, при этом закреплённый на корпусе реактора вниз основанием с меньшим диаметром, в котором закреплён пирамидальный четырёхгранный наконечник вершиной вниз с диагональю основания, большей, чем диаметр меньшего основания усечённого конуса отбойника, таким образом, что между плоскостью основания наконечника и плоскостью меньшего основания усечённого конуса отбойника образованы зазоры; в нижней части корпуса каталитического реактора, в зоне окисления, расположены два диаметрально противоположных патрубка для подачи илового осадка сточных вод, в каждый из которых вварен патрубок подачи воды, между патрубком удаления катализатора и зоной выгрузки несгоревших компонентов илового осадка с патрубком для разгрузочного шнека расположено воздухораспределительное устройство, которое состоит из двух внешних распределительных коллекторов, расположенных в одной плоскости и параллельно друг другу у диаметрально противоположных стенок корпуса реактора, с отходящими от каждого коллектора через колена по три трубы круглого сечения с перфорационными отверстиями в нижней части стенки; последовательно соединённые с каталитическим реактором линией подвода воздуха - воздуходувку и теплогенератор, а линией отвода газа - рекуператор, экономайзер, рукавный фильтр, мокрый вихревой скруббер, высоконапорный вентилятор и дымовую трубу, а также включает систему подачи твёрдого топлива - расходный бункер со шнековым дозатором, бункер выгрузки несгораемых компонентов осадков сточных вод.

Сущность второго изобретения из группы изобретений заключается в следующем.

Способ каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод, который осуществляется установкой каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод, при этом проводят термообработку в псевдоожиженном слое в присутствии катализатора глубокого окисления CO; термообработку проводят путем непрерывной подачи илового осадка сточных вод в каталитический реактор, разогретый до температуры 750°C, в который одновременно подается воздух, необходимый для поддержания режима псевдоожижения слоя катализатора и окисления органической части осадка и дооокисления образующегося при горении CO и органических веществ; дымовые газы поступают из каталитического реактора в рекуператор, далее в трубное пространство экономайзера, где охлаждаются водой, затем поступают на очистку в рукавный фильтр, далее очищенные дымовые газы поступают в мокрый вихревой скруббер, в котором одновременно осуществляют конденсацию паров воды, образованных в процессе каталитического сжигания илового осадка сточных вод, и нейтрализацию кислых газов, содержащихся в дымовых газах.

Сущность третьего изобретения из группы изобретений заключается в следующем. Каталитический реактор для утилизации иловых осадков сточных вод установки для каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод содержит вертикальный корпус с патрубком для подачи катализатора в верхней части корпуса, с последовательно расположенными в нижней части корпуса патрубками ввода илового осадка, шнековой подачи угля и патрубком удаления катализатора, над которыми внутри корпуса, в его средней части, расположена организующая насадка, а в основании корпуса реактора расположен разгрузочный шнек для выгрузки несгораемых компонентов иловых осадков сточных вод. В отличие от прототипа отбойник расположен в верхней части корпуса реактора под крышкой с трубой вывода дымовых газов, выполнен в форме полого усечённого конуса, при этом усечённый конус отбойника закреплён

на корпусе реактора вниз основанием с меньшим диаметром, в котором закреплён пирамидальный четырёхгранный наконечник вершиной вниз с диагональю основания большей, чем диаметр меньшего основания усечённого конуса отбойника, таким образом, что между плоскостью основания наконечника и плоскостью меньшего основания усечённого конуса отбойника образованы зазоры; в нижней части корпуса реактора между патрубком удаления катализатора и зоной выгрузки несгоревших компонентов осадка с патрубком для разгрузочного шнека расположено воздухораспределительное устройство, которое состоит из двух внешних распределительных коллекторов, расположенных в одной плоскости и параллельно друг другу у диаметрально противоположных стенок корпуса реактора, с отходящими от каждого коллектора через колена по три трубы круглого сечения с перфорационными отверстиями в нижней части стенки.

Сущность четвертого изобретения из группы изобретений заключается в следующем.

Способ утилизации иловых осадков сточных вод, при котором проводят термообработку в псевдоожиженном слое дисперсных частиц катализатора. В отличие от прототипа осуществляют сжигание влажных иловых осадков сточных вод в каталитическом реакторе для утилизации иловых осадков сточных вод установки для каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод, в присутствии катализатора, причем термообработку проводят путем непрерывной подачи илового осадка в каталитический реактор, в который одновременно подается воздух, необходимый для режима псевдоожижения слоя катализатора.

Отбойник расположен в верхней части корпуса реактора под крышкой с трубой вывода дымовых газов. Отбойник выполнен в форме полого усечённого конуса, при этом усечённый конус закреплён на корпусе реактора вниз основанием с меньшим диаметром, в котором закреплён пирамидальный четырёхгранный наконечник вершиной вниз с диагональю основания большей, чем диаметр меньшего основания усечённого конуса отбойника, таким образом, что между плоскостью основания наконечника и плоскостью меньшего основания усечённого конуса отбойника образованы зазоры. Основание конуса отбойника большего диаметра на 40% больше диаметра трубы вывода дымовых газов. Конструкция отбойника внутри реактора обеспечивает уменьшение выноса материала и катализатора, и их налипания на отбойник.

В нижней части корпуса реактора между патрубком удаления катализатора и шнековым разгрузчиком расположено воздухораспределительное устройство. Воздухораспределительное устройство состоит из двух внешних коллекторов, расположенных в одной плоскости и параллельно друг другу у диаметрально противоположных стенок корпуса с отходящими от каждого коллектора через колена по три трубы круглого сечения, с перфорационными отверстиями в нижней части стенки, каждая из которых вварена в корпус реактора и свободный заваренный конец каждой из них вставлен в стакан, вваренный снаружи в корпус реактора с противоположной от колена стороны. Все перфорированные трубы расположены параллельно в одной плоскости и между ними имеются зазоры для пропуска несгораемых компонентов осадков сточных вод. Перфорированная часть труб находится внутри корпуса реактора, а общая площадь перфорационных отверстий в трубах составляет 2,5% от площади сечения нижней части корпуса реактора.

Конструкция воздухораспределительного устройства обеспечивает равномерность кипения в сепарационной зоне и зоне окисления реактора, минимизирует налипание золы на воздухораспределитель, через зазоры между трубами воздухораспределителя крупные частицы несгоревших компонентов илового осадка и катализатор попадают в зону выгрузки в основании корпуса реактора, где расположен разгрузочный шнек для выгрузки крупных несгораемых компонентов иловых осадков сточных вод (ОСВ) с дальнейшим удалением из реактора без его остановки.

Основным параметром выбора размеров корпуса выбран внутренний диаметр: диаметр реактора в нижней части равен 1.70 м, что составляет площадь сечения 2,26 $м^2$; в средней части - 2,18 м, в верхней части - 2,80 м. Высота внутренней полости реактора - 4,0 м.

Расположенный после рукавного фильтра скруббер значительно конденсирует (осаждает) воду из парогазовой смеси и нейтрализует кислые газы щелочной обработкой. Скруббер решает задачу захолаживания до приемлемой температуры и удаления избытка паров воды из дымовых газов после процессов сжигания углеродсодержащего топлива или органических соединений перед выбросом их в атмосферу. Основным кислым оксидом в составе отходящих газов после реактора является диоксид серы $SO_2$. Данный оксид образуется из серы, содержавшейся в кеке - иловом осадке сточных вод, при окислении кислородом в кипящем слое катализатора. Для нейтрализации образующихся в растворе равновесных форм сернистой кислоты, в воду скруббера добавляется щелочной агент ($NaOH$ или $Na_2CO_3$).

Утилизацию (сжигание) осуществляют в присутствии катализатора глубокого окисления CO и органических веществ, содержащего в качестве носителя оксид алюминия в количестве не более 50 мас.%, а в качестве активного компонента $Fe_2O_3$ в количестве 48-75 мас.%, а также CuO и/или $Mn_2O_3$ и/или $Co_2O_3$ и/или $Cr_2O_3$ в количестве 2-10 мас.%; термообработку проводят путем непрерывной подачи осадка в реактор, разогретый до температуры 750°C, в который одновременно подается воздух, необходимый для поддержания режима псевдоожижения и окисления органической части осадка и доокисления образующегося при горении CO. При этом коэффициент избытка воздуха близок к стехиометрическому

($1<\alpha\leq1,2$).

В качестве меры каталитической активности катализаторов в процессе сжигания иловых осадков коммунальных очистных сооружений была выбрана степень выгорания илового осадка в процессе сжигания, составляющая 98,1-99,3%.

Группа изобретений может быть выполнена из известных материалов с помощью известных средств, что свидетельствует о ее соответствии критерию патентоспособности "промышленная применимость".

Группа изобретений характеризуется ранее неизвестной из уровня техники предложенной конструкцией каталитического реактора, в котором отсутствует газораспределительная решётка с воздухораспределительными колпачками, при этом новая конструкция воздухораспределительного устройства обеспечивает равномерность кипения в сепарационной зоне и зоне окисления реактора, минимизирует налипание золы на воздухораспределитель, через зазоры между трубами воздухораспределителя зола попадает в зону выгрузки в основании корпуса реактора, где расположен разгрузочный шнек для выгрузки несгораемых компонентов осадков сточных вод с дальнейшим удалением из реактора без его остановки, а новая конструкция отбойника в реакторе обеспечивает уменьшение выноса материала и катализатора, и их налипания на отбойник, тем самым решается имеющаяся техническая проблема.

Группа изобретений обладает ранее неизвестной из уровня техники совокупностью существенных признаков, что свидетельствует о ее соответствии критерию патентоспособности "новизна";

Признаки изобретений из группы изобретений не известны из уровня техники, ввиду этого группа изобретений соответствует критерию патентоспособности "изобретательский уровень".

Изобретения из группы изобретений связаны между собой и образуют единый изобретательский замысел, что свидетельствует о соответствии группы изобретений критерию патентоспособности "единство изобретения".

Группа изобретений поясняется следующими фигурами.

Фиг. 1 - схематическое изображение каталитического реактора.

Фиг. 2 - изображение газораспределительного устройства реактора.

Фиг. 3 - изображение отбойника (продольное сечение).

Фиг. 4 - изображение отбойника (поперечное сечение).

Фиг. 5 - схема установки термокаталитического окисления иловых осадков сточных вод.

Фиг. 6 - сравнительные характеристики катализаторов глубокого окисления.

Для иллюстрации возможности реализации и более полного понимания сути изобретения ниже представлен вариант его осуществления, который может быть любым образом изменен или дополнен, при этом настоящее изобретение ни в коем случае не ограничивается представленным вариантом.

Каталитический реактор (фиг. 1) представляет собой вертикальный корпус 1, при этом диаметр реактора в нижней части равен 1.70 м, в средней части - 2,18 м, в верхней части - 2,80 м, высота внутренней полости реактора - 4,0 м.

В верхней части корпуса реактора 1 расположен патрубок 2 подачи катализатора и отбойник 10 под крышкой 8 с трубой 9 вывода дымовых газов, выполненный в форме полого усечённого конуса. В средней части внутри корпуса реактора 1 расположена организующая насадка 7 для уменьшения неоднородности псевдоожиженного слоя, т.е. разрушения крупных газовых пузырей в реакторе. В нижней части корпуса расположены два патрубка 4 ввода илового осадка и два патрубка 3 шнековой подачи угля и патрубок 6 удаления катализатора. Подача илового осадка (кека) в реактор осуществляется через два диаметрально противоположных патрубка 4, при этом они снабжены патрубками 5 дозирования воды, что позволяет эффективно контролировать перегревы в реакторе, которые могут происходить из-за неоднородности состава осадка. Между патрубком 6 удаления катализатора и зоной 24 выгрузки несгораемых компонентов осадков с патрубком для разгрузочного шнека 18, выход из которого снабжен шиберной задвижкой 19, расположено воздухораспределительное устройство 12. Воздухораспределительное устройство 12 включает (фиг. 2) два распределительных коллектора 13, колена 14 и трубы 15 с перфорационными отверстиями 16 в нижних стенках труб, открытые концы труб вставлены в стаканы 17.

Отбойник, представленный на фиг. 3 и 4, включает корпус в форме усечённого конуса 10 и пирамидальный четырёхгранный наконечник 11.

На фиг. 1 обозначены граница сепарационной зоны 21 каталитического реактора, зона окисления, ввода угля, ввода илового осадка 22, зона распределения воздуха 23 и зона выгрузки несгораемых компонентов иловых осадков 24.

Установка для каталитического сжигания иловых осадков сточных вод (фиг. 5) включает последовательно соединённые с каталитическим реактором 25 линией подвода воздуха воздуходувку 34 и теплогенератор 33, а линией отвода газа рекуператор 26, экономайзер 27, рукавный фильтр 28, мокрый вихревой скруббер 29, высоконапорный вентилятор 30 (дымосос) и дымовую трубу 31, а также включает систему 35 подачи твёрдого топлива (расходный бункер со шнековым дозатором), бункер выгрузки несгораемых компонентов осадков сточных вод 32.

Установка работает следующим образом.

В пустой реактор 25 засыпают 2,5 $м^3$ катализатора через патрубок 2 Включают высоконапорный

вентилятор 30, воздуходувку 34., включают циркуляцию воды в экономайзере 27, включают теплогенератор ТГ 33. Дымовые газы, которые образуются в теплогенераторе ТГ при факельном сжигании дизельного топлива, смешиваются с воздухом и при температуре около 700°С, которая устанавливается за счет регулирования потока воздуха из воздуходувки, и подаются через воздухораспределительное устройство 12 в реактор. Равномерность распределения воздуха в зоне 23 и в зоне окисления 22 реактора обеспечивается поступлением воздуха через два коллектора 13 и отверстия 16 в нижней части стенки воздухораспределительных труб 15. При этом происходит изменение потока воздуха с горизонтального направления на вертикальное и его равномерное распределение по зоне окисления 22 реактора. Для обеспечения равномерного псевдоожижения слоя катализатора и исключения попадания частиц катализатора в газоподводящий трубопровод площадь отверстий в перфорированных трубах составляет 2,5%, что соответствует скорости истечения газа из отверстий на уровне 24 м/с. Предложенная конструкция газораспределения обеспечивает более однородное псевдоожижение слоя. Перфорация нижних частей стенок труб обеспечивает отсутствие засорения воздухораспределителя. Для обеспечения свободного теплового расширения перфорированных труб 15 их свободные концы с зазором вставлены в стаканы 17, стаканы снаружи вварены в корпус реактора 1, их наружное расположение позволяет максимально использовать площадь нижнего сечения реактора.

Нагретые дымовые газы пропускаются через слой катализатора. После нагрева слоя катализатора до температуры 350-400°С в него добавляют необходимое дополнительное количество воздуха (до 8500 нм$^3$/ч с давлением до 40 КПа). При этом слой катализатора приводится в псевдоожиженное состояние и одновременно из бункеров 35 небольшим расходом начинают подавать в реактор 25 дробленый уголь шнековыми дозаторами через патрубки 3, контролируя подъем температуры в слое до 600-700°С. При фиксировании устойчивого подъема температуры увеличением расхода угля доводят температуру в слое до 750°С: в реактор постепенно добавляется катализатор, через патрубок 2, до общего объема катализатора в 9 м$^3$, одновременно с этим постепенно увеличивают подачу угля и отключают подачу горячего воздуха с поддержанием температуры 750°С. Дополнительную равномерность потока воздуха внутри реактора обеспечивают организующей насадкой 7, она служит для уменьшения неоднородности псевдоожиженного слоя, т.е. разрушения крупных газовых пузырей в реакторе. Затем отключают теплогенератор 33. После прогрева катализатора в реактор подается иловый осадок сточных вод (ОСВ) влажностью 73-75% через два диаметрально противоположных патрубка, вход которых расположен в нижней части реактора в зоне окисления, ввода угля, ввода илового осадка 22. Патрубки подачи илового осадка 4 в реакторе снабжены патрубками дозирования воды 5, что позволяет эффективно контролировать перегревы в реакторе, которые могут происходить из-за неоднородности состава осадка. Постепенно увеличивают расход ОСВ и контролируют температуру в зоне окисления, ввода угля, ввода илового осадка. По мере повышения температуры уменьшают расход дробленого угля. При выходе на номинальный расход ОСВ (по влажному осадку 6 т/ч ), температура в зоне окисления, ввода угля, ввода илового осадка 22 поддерживают на уровне 750°С. При полном прекращении подачи дополнительного топлива и дальнейшем повышении температуры слоя выше требуемой (750°С) для термообработки осадка в патрубок подачи илового осадка 4 через патрубок 5 подают воду.

После отключения теплогенератора 33 воздух подают через рекуператор 26 по межтрубному пространству. Нагрев воздуха происходит за счет отбора тепла от отходящих дымовых газов реактора 25.

При понижении температуры ниже номинальной 750°С, что связано с увеличением влажности ОСВ более 75%, включают систему подачи дробленого угля 35 на минимальной производительности шнековых дозаторов, температура в слое доводят до номинальной 750°С увеличением производительности шнековых дозаторов и тем самым расхода дробленого угля.

При повышении температуры в слое выше 750°С, т.е. при снижении влажности ОСВ ниже 73-75%, уменьшается объем воздуха, проходящий через рекуператор 26, при этом увеличивается объем воздуха, идущий напрямую из воздуходувки 34 в реактор 25 при сохранении общего расхода воздуха равному 8273-8300 м$^3$/ч. При этом происходит снижение температуры воздуха и тем самым снижение температуры в слое реактора 25. В пределе весь воздух проходит, минуя рекуператор 26. При последующем снижении влажности ОСВ и дальнейшем повышении температуры в слое включается подача воды через патрубки 5, начиная с минимального расхода до максимального. При достижении максимального расхода воды и сохранении тенденции на рост температуры в слое уменьшается расход подаваемого в реактор ОСВ.

При уменьшении высоты слоя катализатора за счет истирания катализатора происходит дозагрузка катализатора до рабочего уровня без остановки реактора.

Через зазоры между трубами 15 воздухораспределителя 12 крупные несгораемые компоненты осадков сточных вод попадают в зону выгрузки 24 (фиг. 2) в основании корпуса реактора 1, где расположен разгрузочный шнек 18 для выгрузки несгораемых компонентов осадков сточных вод. Периодически осуществляют выгрузку несгораемых крупных включений илового осадка сточных вод шнеком 18, через зону выгрузки несгораемых включений 24, расположенную в основании реактора. Выгрузка происходит без остановки реактора.

Для уменьшения явления уноса катализатора из реактора вместе с образующимися в результате горения ОСВ дымовыми газами в сепарационной зоне 21 установлен отбойник 10. Образующиеся в результате горения осадка дымовые газы с частицами катализатора в сепарационной зоне 21 сталкиваются с отбойником 10 в форме усечённого конуса с пирамидальным четырёхгранным наконечником 11. Отбойник 10 закреплён на корпусе 1 реактора под трубой вывода дымовых газов 9 вниз основанием с меньшим диаметром, в котором закреплён пирамидальный четырёхгранный наконечник 11 вершиной вниз с диагональю основания большей, чем диаметр меньшего основания усечённого конуса отбойника. Конструкция отбойника обеспечивает равномерное распределение потока по сечению реактора и отсутствие аэродинамических затруднений. Твердые частицы катализатора и частицы золы отбиваются и возвращаются в сепарационную зону 21 - слой кипения, где догорают, или через зазоры перфорированных труб 15 воздухораспределителя 12 попадают в зону выгрузки несгораемых компонентов 24. Попавшие в полость конуса отбойника мелкие частицы катализатора или золы ссыпаются через зазоры, образованные плоскостью основания наконечника и плоскостью меньшего основания усечённого конуса отбойника. Остальной пылегазовый поток через трубу вывода дымовых газов 9, расположенную в крышке 8, покидает реактор и направляется на последующие стадии технологической цепочки процесса.

Дымовые газы с температурой 750°С от реактора 25 поступают в рекуператор 26, где охлаждаются до температуры 660°С. Воздух, проходящий через рекуператор 26, нагревается до расчетной температуры 239°С. Дымовые газы из рекуператора 26 поступают в трубное пространство экономайзера 27, где охлаждаются водой, циркулирующей по межтрубному пространству до температуры 185-200°С, затем поступают на очистку в рукавный фильтр 28. В рукавном фильтре 28 дымовые газы очищаются от механической взвеси. Очищенные дымовые газы поступают в скруббер 29 (фиг. 1), в котором происходит "осаждение" пара, содержащегося в дымовых газах, в количестве 3,5 т/ч, а также улавливание кислотных оксидов за счет связывания с щелочным агентом, дополнительно подающимся в воду скруббера 29. Парогазовая смесь в составе: дымовые газы не менее 11600 кг/ч, зола 0,9 кг/ч и водяной пар не менее 4500 кг/ч с температурой 185-200°С, а также вода на орошение в количестве не менее 240 $м^3$/ч с температурой 25-30°С подаются в скруббер в горизонтальном направлении. Такие условия обеспечивают охлаждение парогазовой смеси до температуры 60-70°С, при этом из охлажденной парогазовой смеси конденсируется не менее 3500 кг/ч водяного пара, а температура воды, вытекающей из скруббера, на 10-20°С выше температуры воды, подаваемой на орошение.

При этом вода, подаваемая в скруббер, непрерывно дозируется щелочным агентом (NaOH или $Na_2CO_3$), обеспечивающим эффективное растворение и связывание кислотных оксидов (в основном $SO_2$), входящих в состав дымовых газов. Исходя из данных химического анализа, содержание серы в горючей массе осадка составляет до 0,8 мас.%. Расход осадка в процессе термокаталитического окисления, рассчитанный по горючей массе составляет 1050 кг/ч, что в пересчете на $SO_2$ составляет 16,8 кг/ч. Золой, образующейся в процессе сжигания осадка, улавливается не менее 90% диоксида (с образованием солей) или не менее 15,12 кг/ч. Таким образом, на скруббер поступает не более 1,68 кг/ч $SO_2$. Исходя из допущений, что весь растворенный диоксид серы переходит в равновесные формы сернистой кислоты, можно рассчитать, что в данном случае, концентрация [H+] будет составлять около 1,08*10-4 моль/л. Следовательно, pH такого раствора будет иметь значение около 4,0.

Для нейтрализации такого раствора можно использовать натриевую щелочь (NaOH) в количестве, соответствующем концентрации 1*10-4 моль/л или 24 моль/ч. Следовательно, в воду скруббера необходимо добавлять около 960 г/ч NaOH. При использовании для нейтрализации бикарбоната натрия ($Na_2CO_3$), потребуется введение 0,5*10-4 моль/л или 12 моль/ч соли. Это соответствует расходу в 1,272 кг/ч.

Из скруббера 29 дымовые газы с содержанием пара в количестве 1 т/ч по газоходам через высоконапорный вентилятор 30 подаются в дымовую трубу 31.

Активность используемого катализатора в реакции окисления CO определяют на приборе "Хемосорб" импульсным методом по температуре 50% конверсии CO.

Пример 1.

Гидроксид алюминия типа псевдобемит перемешивают в дистилированной воде с добавлением концентрированной азотной кислоты. Величина кислотного модуля (мольное отношение кислоты к оксиду алюминия) составляет 0.01. Суспензию перемешивают в течение 1 ч. В суспензию добавляют измельченный порошок активного компонента (нанокомпозит, полученный прокаливанием солей нитратов, с поверхностью не менее 10 $м^2$/г, полученный по методике, описанной в работе (Fedorov A.V., Tsapina A.M., Bulavchenko O.A., Saraev A.A., Odegova G.V., Ermakov D.Y., Zubavichus Y.V., Yakovlev V.A., Kaichev V.V., Structure and Chemistry of Cu-Fe-Al Nanocomposite Catalysts for CO Oxidation, Catalysis Letters. 2018. - V. 148., N 12. - P. 3715-3722. DOI: 10.1007/s10562-018-2539-5) с получением пластифицированной массы. Содержание воды в пластифицированной массе составляет 80 мас.%. Капельно формуют в 20 мас.% раствор аммиака через слой углеводородной жидкости. Гранулы сушат на воздухе в течение 24 ч, при 110°С в течение 2 ч и прокаливают при 700°С в течение 1 ч. Полученный катализатор содержит 3.0 мас.% CuO, 50.0 мас.% $Fe_2O_3$ и 47.0% $Al_2O_3$.

Температура 50% конверсии CO составляет 215°C. Степень выгорания осадка 98.1%.

Пример 2.

Аналогичен примеру 1. Полученный катализатор содержит 75.0 мас.% $Fe_2O_3$ и 25.0% $Al_2O_3$.

Температура 50% конверсии CO составляет 225°C. Степень выгорания осадка 97.5%.

Пример 3.

Аналогичен примеру 1. Полученный катализатор содержит 5.0 мас.% $Mn_2O_3$, 60.0 мас.% $Fe_2O_3$ и 35.0% $Al_2O_3$.

Температура 50% конверсии CO составляет 230°C. Степень выгорания осадка 98.5%.

Пример 4.

Аналогичен примеру 1. Полученный катализатор содержит 4.5 мас.% $Cr_2O_3$, 60.0 мас.% $Fe_2O_3$ и 35.5% $Al_2O_3$.

Температура 50% конверсии CO составляет 230°C. Степень выгорания осадка 98.0%.

Пример 5.

Аналогичен примеру 1.

Полученный катализатор содержит 4.0 мас.% $Co_2O_3$, 61.0 мас.% $Fe_2O_3$ и 35.0% $Al_2O_3$.

Температура 50% конверсии CO составляет 200°C. Степень выгорания осадка 98.9%.

Пример 6.

Аналогичен примеру 1.

Полученный катализатор содержит 4.0 мас.% $Co_2O_3$, 6.0 мас.% CuO, 55.0 мас.% $Fe_2O_3$ и 35.0% $Al_2O_3$.

Температура 50% конверсии CO составляет 180°C. Степень выгорания осадка 99.6%.

Пример 7.

Аналогичен примеру 1.

Полученный катализатор содержит 7.0 мас.% $Mn_2O_3$, 3.0 мас.% CuO, 52.0 мас.% $Fe_2O_3$ и 38.0% $Al_2O_3$.

Температура 50% конверсии CO составляет 185°C. Степень выгорания осадка 99.3%

Сравнительные характеристики катализаторов глубокого окисления приведены в таблице, изображенной на фиг. 6.

Таким образом обеспечивается достижение технического результата и решается техническая проблема.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка для каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод, отличающаяся тем, что включает каталитический реактор для утилизации иловых осадков сточных вод, в котором в верхней части корпуса расположен патрубок для подачи катализатора, а под крышкой с трубой вывода дымовых газов расположен отбойник, выполненный в форме полого усечённого конуса, при этом закреплённый на корпусе реактора вниз основанием с меньшим диаметром, в котором закреплён пирамидальный четырёхгранный наконечник вершиной вниз с диагональю основания большей, чем диаметр меньшего основания усечённого конуса отбойника, таким образом, что между плоскостью основания наконечника и плоскостью меньшего основания усечённого конуса отбойника образованы зазоры; в нижней части корпуса каталитического реактора, в зоне окисления, между патрубком удаления катализатора и зоной выгрузки несгоревших компонентов илового осадка с патрубком для разгрузочного шнека расположено воздухораспределительное устройство, которое состоит из двух внешних распределительных коллекторов, расположенных в одной плоскости и параллельно друг другу у диаметрально противоположных стенок корпуса реактора, с отходящими от каждого коллектора через колена по три трубы круглого сечения с перфорационными отверстиями в нижней части стенки; последовательно соединённые с каталитическим реактором линией подвода воздуха - воздуходувку и теплогенератор, а линией отвода дымового газа - рекуператор, экономайзер, рукавный фильтр, мокрый вихревой скруббер, высоконапорный вентилятор и дымовую трубу, а также упомянутый реактор включает систему подачи твёрдого топлива - расходный бункер со шнековым дозатором, бункер выгрузки несгораемых компонентов осадков сточных вод.

2. Способ каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод, который осуществляется установкой каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод по п.1, при котором проводят термообработку в псевдоожиженном слое в присутствии катализатора глубокого окисления CO; термообработку проводят путем непрерывной подачи илового осадка сточных вод в каталитический реактор, разогретый до температуры 750°C, в который одновременно подается воздух, необходимый для поддержания режима псевдоожижения слоя катализатора и окисления органической части осадка и доокисления образующегося при горении CO; дымовые газы поступают из каталитического реактора в рекуператор, далее в трубное пространство экономайзера, где охлаждаются водой, затем поступают на очистку в рукавный фильтр, далее очищенные дымовые газы поступают в мокрый вихревой скруббер, в котором одновременно осуществляют конденсацию паров воды, образованных в процессе

каталитического сжигания илового осадка сточных вод, и нейтрализацию кислых газов, содержащихся в дымовых газах.

3. Каталитический реактор для утилизации иловых осадков сточных вод установки для каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод, содержащий вертикальный корпус с патрубком для подачи катализатора в верхней части корпуса, с последовательно расположенными в нижней части корпуса патрубками ввода илового осадка, шнековой подачи угля и патрубком удаления катализатора, над которыми внутри корпуса, в его средней части, расположена организующая насадка, а в основании корпуса реактора расположен разгрузочный шнек для выгрузки несгораемых компонентов иловых осадков сточных вод, отличающийся тем, что отбойник расположен в верхней части корпуса реактора под крышкой с трубой вывода дымовых газов и выполнен в форме полого усечённого конуса, при этом усечённый конус отбойника закреплён на корпусе реактора вниз основанием с меньшим диаметром, в котором закреплён пирамидальный четырёхгранный наконечник вершиной вниз с диагональю основания большей, чем диаметр меньшего основания усечённого конуса отбойника, таким образом, что между плоскостью основания наконечника и плоскостью меньшего основания усечённого конуса отбойника образованы зазоры, а в нижней части корпуса реактора между патрубком удаления катализатора и зоной выгрузки несгоревших компонентов осадка с патрубком для разгрузочного шнека расположено воздухораспределительное устройство, которое состоит из двух внешних распределительных коллекторов, расположенных в одной плоскости и параллельно друг другу у диаметрально противоположных стенок корпуса реактора, с отходящими от каждого коллектора через колена по три трубы круглого сечения с перфорационными отверстиями в нижней части стенки.

4. Каталитический реактор по п.3, отличающийся тем, что основание отбойника большего диаметра на 40% больше диаметра трубы вывода дымовых газов.

5. Каталитический реактор по п.3, отличающийся тем, что включает два диаметрально противоположных патрубка для подачи илового осадка, в каждый из которых вварен патрубок подачи воды.

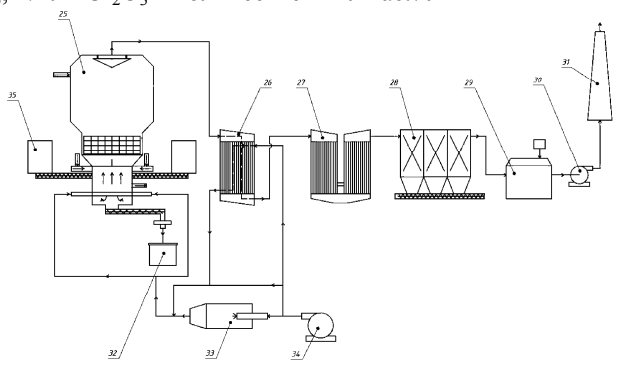
6. Каталитический реактор по п.3, отличающийся тем, что общая площадь перфорационных отверстий в трубах составляет 2,5% от площади сечения нижней части корпуса реактора.

7. Каталитический реактор по п.3, отличающийся тем, что трубы круглого сечения с перфорационными отверстиями в нижней части стенки вварены в корпус реактора и свободный заваренный конец каждой из них вставлен в стакан, вваренный снаружи в корпус реактора с противоположной от колена стороны, при этом все перфорированные трубы расположены в одной плоскости и установлены с зазорами между ними, а перфорированная часть трубы находится внутри корпуса реактора.

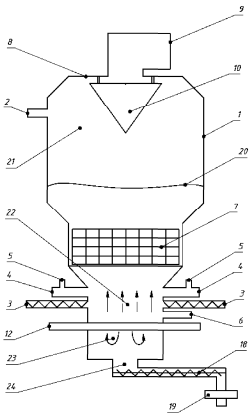
8. Способ утилизации иловых осадков сточных вод, осуществляемый каталитическим реактором по п.3, при котором проводят термообработку в псевдоожиженном слое дисперсных частиц катализатора, отличающийся тем, что осуществляют сжигание влажных иловых осадков сточных вод в каталитическом реакторе для утилизации иловых осадков сточных вод установки для каталитического сжигания топлива в виде илового осадка сточных вод, в присутствии катализатора, причем термообработку проводят путем непрерывной подачи илового осадка в каталитический реактор, в который одновременно подается воздух, необходимый для режима псевдоожижения слоя катализатора.

9. Способ по п.8, в котором термообработку проводят путем непрерывной подачи илового осадка в каталитический реактор, разогретый до температуры 750°С.

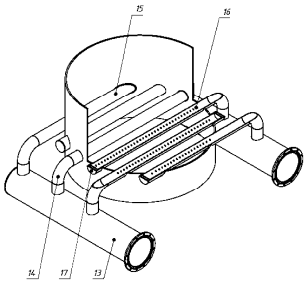
10. Способ по п.8, в котором катализатор содержит в качестве носителя оксид алюминия в количестве не более 50 мас.%, а в качестве активного компонента $Fe_2O_3$ в количестве 48-75 мас.%, а также CuO, и/или $Mn_2O_3$, и/или $Co_2O_3$, и/или $Cr_2O_3$ в количестве 2-10 мас.%



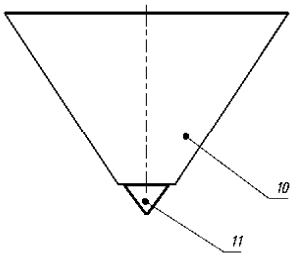

Фиг. 1



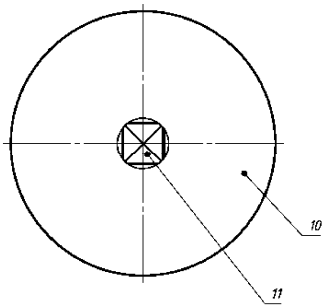

Фиг. 2




Фиг. 3




Фиг. 4




Фиг. 5

| | Температура достижения 50 % конверсии CO, °C | Степень выгорания осадка, % |
|---|---|---|
| Пример 1 | 215 | 98,1 |
| Пример 2 | 225 | 97,5 |
| Пример 3 | 230 | 98,5 |
| Пример 4 | 230 | 98,0 |
| Пример 5 | 200 | 98,9 |
| Пример 6 | 180 | 99,6 |
| Пример 7 | 185 | 99,3 |

Фиг. 6