РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 635 560**(13) **C2**

(51) МПК
B04C 5/08 (2006.01)
B04C 5/103 (2006.01)
B01J 8/24 (2006.01)
B01J 8/26 (2006.01)
C07C 7/12 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2013148091, 29.10.2013**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.10.2013

Дата регистрации:
14.11.2017

Приоритет(ы):
(30) Конвенционный приоритет:
29.10.2012 CN 201210419823.9;
29.10.2012 CN 201210420999.6

(43) Дата публикации заявки: **10.05.2015** Бюл. № 13

(45) Опубликовано: **14.11.2017** Бюл. № 32

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры"

(72) Автор(ы):
ЛУН Цзюнь (CN),
ТЯНЬ Чжихун (CN),
ХОУ Шуаньди (CN),
ЧЖУ Бинтянь (CN),
У Сюэфын (CN),
ЧЖАН Цзюшунь (CN),
МАО Аньго (CN),
ЧЖАН Чжэминь (CN),
ЛВ Луфын (CN),
ХЭ Цзиньлун (CN),
ЛИ Сюэфын (CN),
ЛЮ Ялинь (CN)

(73) Патентообладатель(и):
ЧАЙНА ПЕТРОЛЕУМ ЭНД КЕМИКАЛ КОРПОРЕЙШН (CN),
РИСЕРЧ ИНСТИТЬЮТ ОФ ПЕТРОЛЕУМ ПРОСЕССИНГ, СИНОПЕК (CN)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 6679930 B1, 20.01.2004. GB 868043 A, 17.05.1961. US 2003/0188993 A, 09.10.2003. RU 2226128 A1, 27.03.2004.**

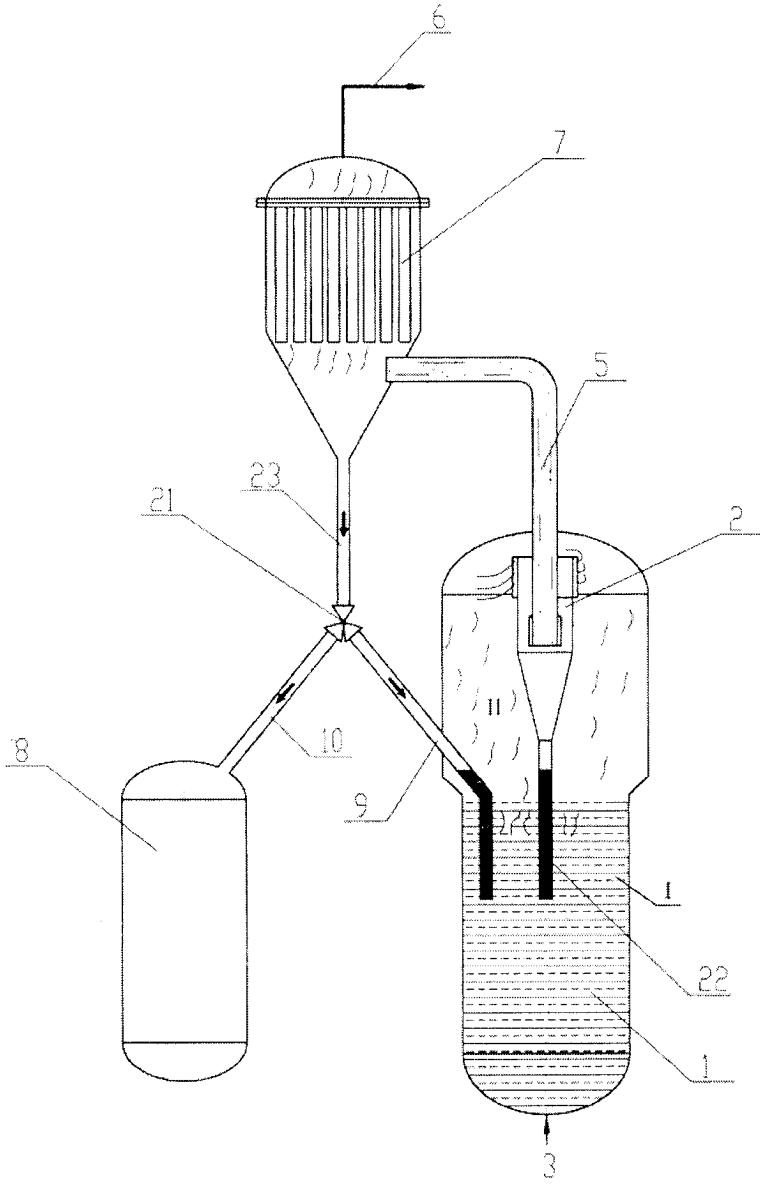
(54) СПОСОБ АДСОРБЦИОННОЙ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ И РЕАКТОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к реакторному устройству для проведения адсорбционной десульфуризации, которое включает реактор с псевдоожиженным слоем, регенератор катализатора, восстановитель катализатора, улавливатель мелкого порошка катализатора и классификатор мелкого порошка, где классификатор мелкого порошка включает разгрузочный трубопровод для приема частиц катализатора большего размера, фракционированных классификатором мелкого порошка, причем данный разгрузочный трубопровод герметично проходит через боковую стенку корпуса реактора и входит в реакционную зону. Также изобретение относится к способу адсорбционной десульфуризации. Использование предлагаемого изобретения позволяет снизить дробление твердых частиц при разделении. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 5 ил., 8 табл., 4 пр.

RU 2635560 C2

RU 2635560 C2



ФИГ. 3

RU 2635560 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 635 560**(13) **C2**

(51) Int. Cl.
B04C 5/08 (2006.01)
B04C 5/103 (2006.01)
B01J 8/24 (2006.01)
B01J 8/26 (2006.01)
C07C 7/12 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2013148091, 29.10.2013**

(24) Effective date for property rights:
29.10.2013

Registration date:
14.11.2017

Priority:
(30) Convention priority:
29.10.2012 CN 201210419823.9;
29.10.2012 CN 201210420999.6

(43) Application published: **10.05.2015** Bull. № **13**

(45) Date of publication: **14.11.2017** Bull. № **32**

Mail address:
129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, stroenie 3, OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):
LUN Tszyun (CN),
TYAN Chzhikhun (CN),
KHOU Shuandi (CN),
CHZHU Bintyan (CN),
U Syuefyn (CN),
CHZHAN Tszyushun (CN),
MAO Ango (CN),
CHZHAN Chzhemin (CN),
LV Lufyn (CN),
KHE Tszinlun (CN),
LI Syuefyn (CN),
LYU Yalin (CN)

(73) Proprietor(s):
CHAJNA PETROLEUM END KEMIKAL KORPOREJSHN (CN),
RISERCH INSTITYUT OF PETROLEUM PROSESSING, SINOPEK (CN)

(54) METHOD OF ADSORPTION DESULFURIZATION OF HYDROCARBONS AND REACTOR APPARATUS FOR ITS IMPLEMENTATION

(57) Abstract:

FIELD: machine engineering.

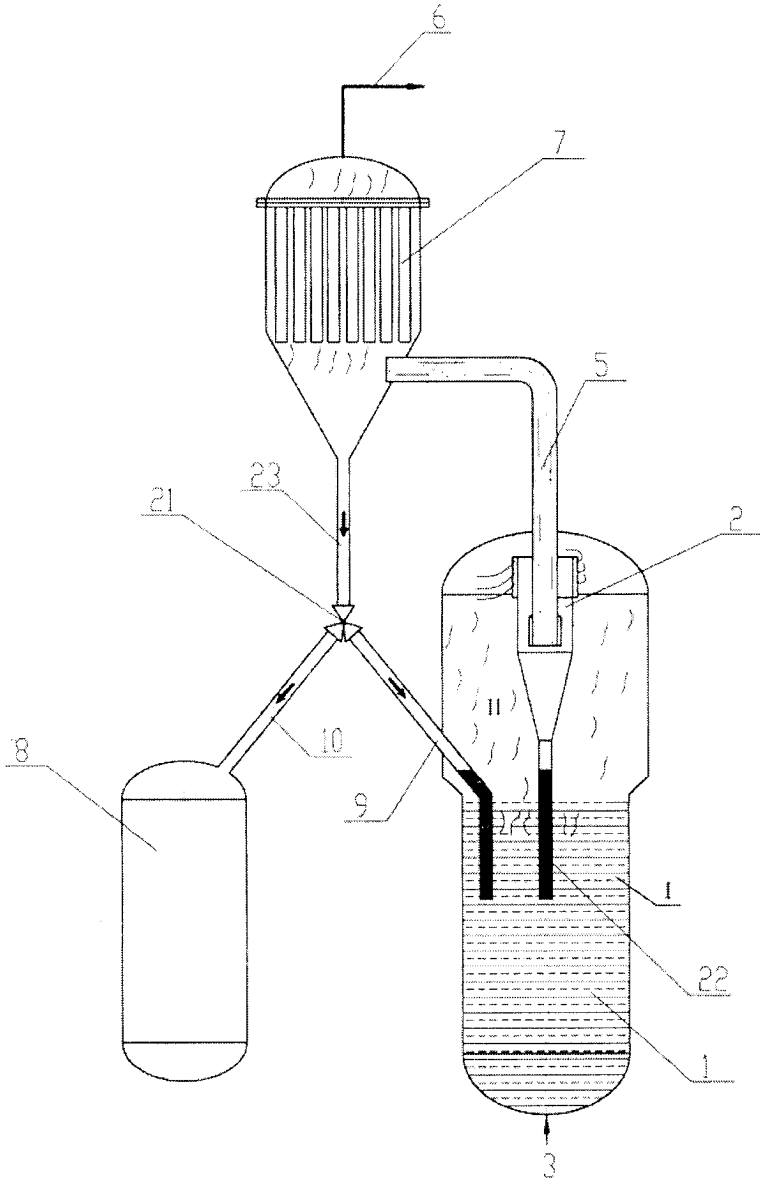
SUBSTANCE: invention relates to reactor apparatus for carrying out adsorption desulfurization which comprises a fluidized bed reactor, a catalyst regenerator, a catalyst reducer, a fine powder catcher and a fine powder classifier, wherein the fine powder classifier includes a discharge pipeline for receiving larger-sized catalyst particles fractionated by the fine powder classifier, wherein said discharge pipe is hermetically passed through side wall of reactor body and enters reaction zone. The invention also relates to adsorption desulfurization process.

EFFECT: reduced crushing of solid particles during separation.

20 cl, 5 dwg, 8 tbl, 4 ex

RU 2635560 C2

RU 2635560 C2



ФИГ. 3

RU 2635560 C2

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к воздушному классификатору частиц, реакторному устройству для проведения адсорбционной десульфуризации, включающему воздушный классификатор частиц, и способу адсорбционной десульфуризации с использованием реакторного устройства для проведения адсорбционной десульфуризации.

Уровень техники

При проведении адсорбционной десульфуризации углеводородов элементарную серу в исходном углеводородном сырье связывают, в частности, путем превращения элементарной серы в серосодержащих углеводородах в сульфид цинка. Путем подачи кислорода в регенератор и проводя в нем сжигание, осуществляют взаимодействие сульфида цинка в частицах катализатора и кислорода с образованием оксида цинка и диоксида серы и тем самым восстанавливают адсорбционную активность катализатора.

Поскольку атомный радиус элементарной серы больше, чем атомный радиус элементарного кислорода, то в цикле взаимодействие-регенерация кристаллическая решетка катализатора неизбежно изменяется, и может даже произойти дробление частиц катализатора, что приводит к образованию мелкого порошка катализатора. Кроме того, в реакторе с многофазным псевдоожиженным слоем реакционный газ и катализатор вступают во взаимодействие друг с другом. Под действием реакционного потока катализатор поддерживается в псевдоожиженном состоянии. В результате длительного столкновения и истирания частиц катализатора происходит их механическое измельчение, что также ведет к образованию мелкого порошка катализатора.

В существующем способе адсорбционной десульфуризации S-Zorb используют реактор с псевдоожиженным слоем. Продукты реакции покидают реактор через пылеулавливающий фильтр, размещенный в верхней части реактора, а твердые частицы покидают реактор через выпускной трубопровод, размещенный ниже реакционного потока в верхнем слое реактора, и поступают в регенератор, а затем в аппарат для проведения процессов химического восстановления с целью регенерации катализатора и восстановления его активности. В реакторе адсорбционной десульфуризации с псевдоожиженным слоем порошок катализатора и порошок, образовавшийся при длительном истирании частиц катализатора, поднимается в зону седиментации реактора и сохраняется в виде суспензии в течение длительного времени. Порошок и частицы в суспендированном состоянии не имеют шансов вернуться в плотный псевдоожиженный слой в реакторе или не могут быть выгружены из реактора, а потому оказывают влияние на устойчивую работу реакторного устройства.

В существующем реакторе адсорбционной десульфуризации, предназначенном для получения бензина каталитического крекинга, с целью восстановления катализатора обычно используют выполненный конструктивно как единое целое металлический фильтр. Однако металлический фильтр имеет малый диаметр пор и в основном восстанавливает очень мелкий порошок катализатора. Твердые частицы с размером, например, больше чем 2 мкм обычно остаются в реакционной системе, что приводит к тому, что большое количество мелкого порошка катализатора с более мелким размером частиц не может быть должным образом извлечено из реактора, а потому страдают как процесс десульфуризации, так и нормальная работа реактора.

Катализатор для адсорбционной десульфуризации имеет более низкую механическую прочность, чем другие твердые катализаторы. В том случае, когда реактор адсорбционной десульфуризации снабжен циклонным сепаратором для отделения катализатора, вследствие высокой скорости потока газа в циклонном сепараторе в процессе отделения углеводородных продуктов от частиц катализатора происходит

интенсивное столкновение частиц друг с другом и частиц со стенками циклонного сепаратора, что приводит к дроблению катализатора. Кроме того, в циклонном сепараторе существует поле центробежных сил с сильным турбулентным потоком. Частицы различного размера в реакторе с псевдоожиженным слоем обладают разным сопротивлением в турбулентном потоке. Это приводит к тому, что мелкий порошок в реакторе с псевдоожиженным слоем не может быть эффективно отделен и классифицирован. Кроме того, вследствие значительного дробления катализатора количество мелкого порошка катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем повышается, а потому катализатор потребляется быстрее. Таким образом, в общем случае, циклонный сепаратор не является оптимальным узлом для отделения и классификации катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем.

Таким образом, существует настоятельная потребность в новом устройстве для проведения процессов химического восстановления, которое не только осуществляет адсорбционную десульфуризацию, а также регенерацию и восстановление катализатора, но и позволяет должным образом удалять тонкий порошок катализатора, образующийся в системе при протекании реакции, с тем, чтобы повысить эффективность десульфуризации, и которое обеспечивает устойчивую и долговременную работу реакторного устройства. Кроме того, в процессе отделения и классификации частиц катализатора требуется, чтобы вторичное дробление частиц катализатора не возникало вовсе или практически не возникало. В связи с этим требуется также классификатор, который может эффективно отделять твердые частицы большего размера от потока газа, содержащего твердые частицы, и не приводит к увеличению дробления частиц катализатора.

Сущность изобретения

С целью решения вышеуказанных проблем, возникающих при осуществлении адсорбционной десульфуризации, в настоящем изобретении предлагается воздушный классификатор частиц.

В соответствии с настоящим изобретением воздушный классификатор частиц по настоящему изобретению включает:

герметично закрытый сверху основной блок классификатора, выпускное отверстие, выпускной трубопровод и по меньшей мере одно направляющее входное отверстие;

где внутреннее пространство основного блока классификатора, если двигаться сверху вниз, включает зону в виде прямой трубы и коническую зону, при этом коническое основание конической зоны соединено с зоной в виде прямой трубы;

при этом указанное выпускное отверстие располагается в нижней части конической зоны;

при этом указанное направляющее входное отверстие располагается в верхней части зоны в виде прямой трубы в тангенциальном направлении зоны в виде прямой трубы и соединяется с внутренним пространством основного блока классификатора;

при этом указанный выпускной трубопровод герметично встроен в верхнюю часть основного блока классификатора и продолжается вниз до нижней части зоны в виде прямой трубы, причем указанный выпускной трубопровод имеет герметично закрытый нижний конец;

и при этом в нижней части выпускного трубопровода располагается по меньшей мере одно направляющее выходное отверстие, которое связывает выпускной трубопровод с внутренним пространством основного блока классификатора, причем направляющее выходное отверстие располагается в тангенциальном направлении выпускного трубопровода.

Воздушный классификатор частиц по настоящему изобретению при разделении потока газа, содержащего твердые частицы, способен отделить твердые частицы большего размера, так что выделенные твердые частицы имеют низкое содержание захваченного мелкого порошка.

В соответствии с воздушным классификатором частиц по настоящему изобретению указанное внутреннее пространство воздушного классификатора включает зону в виде прямой трубы и коническую зону, при этом направляющее входное отверстие и направляющее выходное отверстие располагаются в зоне в виде прямой трубы и отделены друг от друга определенным промежутком, а герметично закрытый нижний конец располагается под направляющим выходным отверстием. В процессе того, как воздушный классификатор частиц разделяет и классифицирует твердые частицы в потоке газа, поступающем во внутренне пространство, во внутреннем пространстве может образовываться способствующая разделению и классификации стабильная область вихревого течения циркуляционного потока, которая позволяет выделить твердые частицы большего размер.

При отделении газового потока, содержащего твердые частицы, с помощью воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению скорость потока газа во внутреннем пространстве классификатора замедляется и стабилизируется, так что вероятность дробления твердых частиц снижается.

С целью решения первоочередных проблем, возникающих при адсорбционной десульфуризации, в настоящем изобретении предлагается реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации.

В соответствии с настоящим изобретением реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению включает реактор с псевдоожиженным слоем, регенератор катализатора, восстановитель катализатора, необязательный улавливатель мелкого порошка катализатора и необязательный классификатор мелкого порошка катализатора,

где указанный реактор с псевдоожиженным слоем включает герметично закрытый сверху корпус реактора по меньшей мере один воздушный классификатор частиц и по меньшей мере один питающий трубопровод, при этом внутреннее пространство корпуса реактора, если двигаться сверху вниз, включает зону седиментации и реакционную зону, а питающий трубопровод располагается в нижней части указанной реакционной зоны;

где указанный воздушный классификатор частиц включает:

герметично закрытый сверху основной блок классификатора, выпускное отверстие, выходной трубопровод и по меньшей мере одно направляющее входное отверстие;

где внутреннее пространство основного блока классификатора, если двигаться сверху вниз, включает зону в виде прямой трубы и коническую зону, при этом коническое основание конической зоны соединено с зоной в виде прямой трубы;

где указанное выпускное отверстие располагается в нижней части конической зоны;

где указанное направляющее входное отверстие располагается в верхней части зоны в виде прямой трубы в тангенциальном направлении зоны в виде прямой трубы и соединяется с внутренним пространством основного блока классификатора;

где указанный выпускной трубопровод герметично встроен в верхнюю часть основного блока классификатора и продолжается вниз до нижней части зоны в виде прямой трубы, при этом указанный выпускной трубопровод имеет герметично закрытый нижний конец;

где в нижней части выпускного трубопровода располагается по меньшей мере одно направляющее выходное отверстие, которое связывает выпускной трубопровод с

внутренним пространством основного блока классификатора, при этом направляющее выходное отверстие располагается в тангенциальном направлении выпускного трубопровода;

где основной блок воздушного классификатора частиц размещен в зоне седиментации, выпускной трубопровод герметично проходит через верхнюю часть реактора с псевдоожиженным слоем, направляющее входное отверстие связано с зоной седиментации, а выпускное отверстие выступает в сторону реакционной зоны.

Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению способно не только осуществлять адсорбционную десульфуризацию серосодержащего углеводородного сырья, а также регенерацию и восстановление отработанного катализатора, но и способно должным образом удалять мелкий порошок катализатора, образующийся в реакторе адсорбционной десульфуризации в процессе проведения адсорбционной десульфуризации.

Воздушный классификатор частиц реакторного устройства для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению может эффективно выделять частицы катализатора большего размера из смеси углеводород-катализатор, поступающей из зоны седиментации, и посылать их обратно в реакционную зону. Мелкий порошок катализатора выводится из реактора с псевдоожиженным слоем вместе с углеводородными продуктами. Причина, почему воздушный классификатор частиц способен добиваться вышеуказанной эффективности, заключается в следующем: внутреннее пространство основного блока классификатора включает зону в виде прямой трубы и коническую зону, при этом направляющее входное отверстие и направляющее выходное отверстие располагаются в зоне в виде прямой трубы и отделены друг от друга определенным промежутком, а герметично закрытый нижний конец находится под направляющим выходным отверстием. В процессе адсорбционной десульфуризации, когда воздушный классификатор частиц отделяет и классифицирует частицы катализатора в смеси углеводород-катализатор, которая поступает во внутреннее пространство основного блока классификатора, во внутреннем пространстве создается стабильная область вихревого течения циркуляционного потока, которая способствует разделению и позволяет провести классификацию части катализатора в смеси углеводород-катализатор и эффективно удалить мелкий порошок катализатора из реактора с псевдоожиженным слоем.

В разделительном пространстве воздушного классификатора частиц в реакторном устройстве для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению поток газа имеет низкую скорость и устойчивое течение, так что вероятность вторичного дробления катализатора при разделении и классификации низкая.

С целью решения первоочередных проблем, возникающих при проведении адсорбционной десульфуризации, в настоящем изобретении предлагается способ адсорбционной десульфуризации.

Способ адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению осуществляют в реакторном устройстве для проведения адсорбционной десульфуризации, который предлагается в настоящем изобретении, при этом способ включает: контактирование серосодержащего углеводородного сырья и катализатора адсорбционной десульфуризации в реакционной зоне реактора с псевдоожиженным слоем с целью удаления по меньшей мере части элементарной серы, содержащейся в углеводородном сырье; разделение полученной смеси углеводород-катализатор последовательно в зоне седиментации, воздушном классификаторе частиц, необязательном улавливателе мелкого порошка катализатора и необязательную классификацию мелкого порошка с получением

углеводородных продуктов и отработанного катализатора; введение по меньшей мере части отработанного катализатора в регенератор катализатора с тем, чтобы регенерировать катализатор; восстановление регенерированного катализатора в устройстве восстановления катализатора и рециклирование по меньшей мере части восстановленного катализатора в реакционную зону.

Способ адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению, благодаря использованию реакторного устройства для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению, способен должным образом удалять мелкий порошок катализатора, образовавшийся в процессе адсорбционной десульфуризации в реакторе с псевдоожиженным слоем и позволяет избежать накопления мелкого порошка катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем таким образом, чтобы реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению было способно устойчиво работать в течение длительного периода времени и чтобы добиться высокой и устойчивой эффективности десульфуризации. Кроме того, низка вероятность вторичного дробления катализатора во время отделения и классификации частиц катализатора, а потому потребление катализатора и производственные расходы при эксплуатации устройства могут быть снижены.

Описание чертежей

Фиг. 1 поясняет воздушный классификатор частиц по настоящему изобретению.

Фиг. 2 представляет собой проекцию в направлении A-A устройства, приведенного на фиг. 1.

Фиг. 3 иллюстрирует вариант реактора с псевдоожиженным слоем по настоящему изобретению.

Фиг. 4 иллюстрирует другой вариант реактора с псевдоожиженным слоем по настоящему изобретению.

Фиг. 5 иллюстрирует реактор с псевдоожиженным слоем по настоящему изобретению.

Конкретный способ осуществления настоящего изобретения

Далее настоящее изобретение будет подробно описано на примере конкретных вариантов его осуществления. Тем не менее, следует понимать, что указанные варианты осуществления приведены лишь с целью пояснения и иллюстрирования настоящего изобретения и никак не ограничивают настоящее изобретение.

Воздушный классификатор частиц

Со ссылкой на фиг. 1 и 2 будет подробно описан воздушный классификатор частиц по настоящему изобретению. Воздушный классификатор частиц включает герметично закрытый сверху основной блок классификатора с полой структурой, выпускное отверстие 22, выпускной трубопровод 28 и по меньшей мере одно направляющее входное отверстие 24; внутреннее пространство основного блока классификатора, если двигаться сверху вниз, включает зону в виде прямой трубы 25 и коническую зону 26, при этом основание конуса конической зоны 26 соединено с зоной в виде прямой трубы 25; выпускное отверстие 22 размещается в нижней части конической зоны 26; направляющее входное отверстие 24 размещается в верхней части зоны в виде прямой трубы 25 в тангенциальном направлении зоны в виде прямой трубы 25 (верхняя часть означает, сверху вниз, первые 1/10, 2/10, 3/10, 4/10, 5/10 части от длины зоны в виде прямой трубы 25) и соединено с внутренним пространством основного блока классификатора;

выпускной трубопровод 28 герметично встроен в верхнюю часть основного блока классификатора и продолжается вниз до нижней части зоны в виде прямой трубы 25 (нижняя часть означает, снизу вверх, первые 1/10, 2/10, 3/10, 4/10, 5/10 части от длины

зоны в виде прямой трубы 25), при этом конец выпускной трубы 28 герметично закрыт; нижнюю часть выпускного трубопровода 28 (нижняя часть означает первые 1/10, 2/10, 3/10, 4/10, 5/10 части от длины выпускного трубопровода 28) размещают по меньшей мере с одним направляющим выходным отверстием 27, которое соединяет выпускной трубопровод 28 с внутренним пространством основного блока классификатора, при этом направляющее выходное отверстие 27 открывается в тангенциальном направлении выпускного трубопровода 28.

В одном варианте осуществления воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению внутри основного блока классификатора необязательно присутствует по меньшей мере один внутренний компонент, такой как встроенный вертушечный расходомер. В другом варианте осуществления воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению внутри основного блока классификатора подобный внутренний компонент, такой как встроенный вертушечный расходомер, в основном блоке классификатора отсутствует. В другом варианте осуществления воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению по меньшей мере один внутренний компонент, такой как встроенный вертушечный расходомер, присутствует в основном блоке классификатора.

В одном варианте осуществления воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению отношение длины части выпускного трубопровода 28, встроенного в основной блок классификатора (т.е. расстояние от верхней части основного блока классификатора до основания выпускного трубопровода 28), к длине зоны в виде прямой трубы 25 составляет 0,6-1, например 0,7-1, 0,8-1, 0,9-1 или 0,95-1.

В одном варианте осуществления воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению коническая зона 26 имеет форму перевернутого усеченного конуса.

В одном варианте осуществления воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению верхняя часть направляющего входного отверстия находится на одной линии с верхней частью зоны в виде прямой трубы.

В одном варианте осуществления воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению отношение высоты направляющего входного отверстия к высоте направляющего выходного отверстия составляет от 1/10 до 10/1, в частности от 1/5 до 5/1, от 1/4 до 4/1, от 1/3 до 3/1, от 1/2 до 2/1, или 1:1; в том случае, если количество направляющих входных отверстий больше единицы, то указанные отличные от одного направляющие входные отверстия имеют один и тот же размер; и в том случае, если количество направляющих выходных отверстий больше единицы, то указанные отличные от одного направляющие выходные отверстия имеют один и тот же размер.

В воздушном классификаторе частиц отношение высоты зоны в виде прямой трубы к высоте конической зоны может составлять 0,4-1,5:1, в частности 0,5-1:1, например 0,6-0,8:1.

Направляющее входное отверстие располагается в тангенциальном направлении зоны в виде прямой трубы. С другой стороны, направляющее входное отверстие обеспечивает введение смеси углеводород-катализатор, поступающей из зоны седиментации, которая должна входить во внутреннее пространство воздушного классификатора частиц, а с другой стороны, является движущей силой для образования смеси углеводород-катализатор, поступающей из зоны седиментации, области вихревого течения циркуляционного потока во внутреннем пространстве воздушного классификатора частиц.

Направляющее выходное отверстие располагается в тангенциальном направлении выпускного трубопровода. С одной стороны, направляющее выходное отверстие

обеспечивает отвод смеси углеводород-катализатор в воздушном классификаторе частиц и позволяет указанной смеси покидать внутреннее пространство воздушного классификатора частиц, а с другой стороны, является движущей силой для образования смеси углеводород-катализатор области вихревого течения циркуляционного потока во внутреннем пространстве воздушного классификатора частиц.

Количество направляющих входных отверстий и количество направляющих выходных отверстий, соответственно, равняется по меньшей мере одному, в частности, соответственно, может быть равно 1-10. Предпочтительно, количество направляющих входных отверстий и количество направляющих выходных отверстий, соответственно, больше, чем один, что позволяет создать однородные и стабильные потоки как в зоне в виде прямой трубы, так и в выпускном трубопроводе и тем самым еще больше повысить эффективность разделения и классификации, которая предлагается в настоящем изобретении. Более предпочтительно, количество направляющих входных отверстий и количество направляющих выходных отверстий соответственно равно 2-8. Количество направляющих входных отверстий и количество направляющих выходных отверстий может быть одинаковым или различным и, предпочтительно, является одинаковым.

В том случае, когда количество направляющих входных отверстий больше одного, указанное превышающее один количество направляющих входных отверстий, предпочтительно, распределено вдоль окружности зоны в виде прямой трубы преимущественно на одинаковом расстоянии друг от друга. В том случае, когда количество направляющих выходных отверстий больше одного, указанное превышающее один количество направляющих выходных отверстий, предпочтительно, распределено вдоль окружности выпускного трубопровода, преимущественно на одинаковом расстоянии друг от друга. Более чем одно направляющее входное отверстие и более чем одно направляющее выходное отверстие ориентированы таким образом, чтобы смесь углеводород-катализатор могла создавать область вихревого течения циркуляционного потока в том же самом направлении, что и направление потока во внутреннем пространстве основного блока классификатора.

Направляющее входное отверстие и направляющее выходное отверстие разделены достаточно большим промежутком, с тем чтобы могли быть отделены частицы катализатора большого размера. С точки зрения улучшения эффективности разделения и классификации расстояние от нижнего края направляющего входного отверстия (в случае более чем одного направляющего входного отверстия это означает самый нижний край) до дна зоны в виде прямой трубы равно H1, расстояние от нижнего края направляющего выходного отверстия (в случае более чем одного направляющего выходного отверстия это означает самый нижний край) до дна зоны в виде прямой трубы равно H2, а отношение H1/H2 может составлять 1:0,1-0,8, преимущественно составляет 1:0,2-0,6.

Направляющее входное отверстие размещается в верхней части зоны в виде прямой трубы, предпочтительно верхний край направляющего входного отверстия находится на одной линии с верхом зоны в виде прямой трубы. Направляющее выходное отверстие размещается в нижней части выпускного трубопровода, предпочтительно нижний край направляющего выходного отверстия находится на одной линии с нижней частью выпускного трубопровода.

Площади поперечных сечений, проведенных перпендикулярно направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия и направляющего выходного отверстия (горизонтальные площади поперечного сечения) могут быть подобраны в соответствии

с производительностью реактора с псевдоожиженным слоем. Кроме того, регулирование площадей, перпендикулярных направлению потока воздуха поперечных сечений, направляющего входного отверстия и направляющего выходного отверстия представляет собой регулирование скорости потока смеси углеводород-катализатор в воздушном классификаторе частиц, а потому является одним из важнейших инструментов контролирования размера частиц катализатора, возвращающихся в реакционную зону. Между прочим, при классификации твердых частиц в потоке газа, содержащего твердые частицы (например, при классификации частиц катализатора в смеси углеводород-катализатор, поступающей из зоны седиментации), регулирование скорости потока до нужного уровня может дополнительно снизить вероятность дробления твердых частиц (таких, как частицы катализатора) при классификации. В соответствии с настоящим изобретением разность между площадью горизонтального поперечного сечения зоны в виде прямой трубы и площадью горизонтального поперечного сечения выпускного трубопровода составляет A0, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия равно A1, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, направляющего выходного отверстия равно A2; отношение A1/A0 предпочтительно равно 0,01-0,8:1, более предпочтительно 0,02-0,6:1; отношение A2/A0 предпочтительно равно 0,01-0,5:1, более предпочтительно 0,015-0,4:1. В том случае, когда количество направляющих входных отверстий равно одному, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия означает площадь поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия; а в том случае, когда количество направляющих входных отверстий больше одного, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия означает сумму площадей поперечных сечений, перпендикулярных направлению потока воздуха более чем одного направляющего входного отверстия. В том случае, когда количество направляющих выходных отверстий равно одному, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего выходного отверстия означает площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего выходного отверстия; а в том случае, когда количество направляющих выходных отверстий больше одного, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего выходного отверстия означает сумму площадей поперечных сечений, перпендикулярных направлению потока воздуха более чем одного направляющего выходного отверстия.

Площадь поперечного сечения выпускного трубопровода можно подобрать в соответствии с внутренним пространством основного блока классификатора. С точки зрения дальнейшего повышения эффективности разделения и классификации имеющих больший размер частиц катализатора в смеси углеводород-катализатор и дальнейшего снижения вероятности дробления частиц катализатора в процессе разделения и классификации отношение площади поперечного сечения перпендикулярно направлению потока воздуха выпускного трубопровода к горизонтальной площади поперечного сечения зоны в виде прямой трубы, предпочтительно составляет 0,01-0,7:1, более предпочтительно составляет 0,04-0,6:1.

Разделение потока газа, содержащего твердые частицы, с помощью воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению позволяет эффективно разделить

и классифицировать твердые частицы более крупного размера, которые содержат лишь небольшое количество мелкого порошка; а в процессе разделения существует низкая вероятность дробления твердых частиц. Таким образом, воздушный классификатор частиц по настоящему изобретению наиболее пригоден в качестве встроенного классификатора для разделения потока газа, содержащего частицы катализатора.

Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации

В настоящем изобретении предлагается реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации, при этом указанное устройство включает реактор с псевдоожиженным слоем, регенератор катализатора, восстановитель катализатора, необязательный улавливатель мелкого порошка катализатора и необязательный классификатор мелкого порошка.

Реактор с псевдоожиженным слоем включает герметично закрытый сверху корпус реактора, по меньшей мере один воздушный классификатор частиц и по меньшей мере один питающий трубопровод. Внутреннее пространство корпуса реактора, если двигаться сверху вниз, включает зону седиментации и реакционную зону, а питающий трубопровод располагается в нижней части реакционной зоны. В соответствии с настоящим изобретением реакционная зона означает пространство для контактирования и взаимодействия реагентов (таких как серосодержащее углеводородное сырье) и катализатора адсорбционной десульфуризации, а зона седиментации означает пространство для удерживания смеси углеводород-катализатор, поступающей из реакционной зоны, с целью отстаивания частиц катализатора большего размером в смеси углеводород-катализатор и возвращения частиц катализатора в реакционную зону.

Реакционная зона может представлять собой зону в виде прямой трубы или может представлять собой реакционную зону с изменяющимся диаметром, предпочтительно представляет собой реакционную зону с изменяющимся диаметром, более предпочтительно представляет собой цилиндрическую реакционную зону с изменяющимся диаметром. С точки зрения дальнейшего повышения эффективности адсорбционной десульфуризации в реакционной зоне могут быть установлены различные внутренние компоненты, которые обычно используют в данной области техники для улучшения контакта между газовой фазой и жидкой фазой.

Форму зоны седиментации удобно выбирать с учетом того, что частицы катализатора большего размера могли бы быть осаждены и возвращены в реакционную зону.

Воздушный классификатор частиц представляет собой воздушный классификатор частиц, предлагаемый в настоящем изобретении, при этом основной блок воздушного классификатора частиц располагается в зоне седиментации, выпускной трубопровод герметично проходит сквозь верхнюю часть реактора с псевдоожиженным слоем, направляющее входное отверстие соединяется с зоной седиментации, а выпускное отверстие выступает в сторону реакционной зоны.

Поток газа, поступающий из зоны седиментации, попадает в основной блок классификатора воздушного классификатора частиц через направляющее входное отверстие воздушного классификатор частиц и повергается классификации. Фракционированные частицы катализатора большого размера возвращаются в реакционную зону посредством выпускного отверстия воздушного классификатор частиц, а остальной поток газа выводится из реактора с псевдоожиженным слоем посредством выпускного трубопровода воздушного классификатора частиц.

Структура воздушного классификатора частиц уже рассмотрена выше в данном описании и больше обсуждаться здесь не будет.

Ниже со ссылкой на фиг. 3 и фиг. 4 будет рассмотрено реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению.

Как показано на фиг. 3 или фиг. 4, в реакторном устройстве для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению основной блок воздушного классификатора частиц 2 размещен в зоне седиментации II реактора с псевдоожиженным слоем 1, выпускной трубопровод воздушного классификатора частиц по настоящему изобретению 2 герметично проходит через верхнюю часть реактора с псевдоожиженным слоем 1, направляющее входное отверстие воздушного классификатора частиц 2 соединено с зоной седиментации II, выпускное отверстие 22 воздушного классификатора частиц 2 направлено вниз в реакционную зону I реактора с псевдоожиженным слоем 1. Во время работы смесь углеводород-катализатор, поступающая из зоны седиментации II, попадает в основной блок воздушного классификатора частиц 2 через направляющее входное отверстия воздушного классификатора частиц 2 и подвергается классификации, отделенные частицы катализатора большого размера возвращаются в реакционную зону через выпускное отверстие 22 воздушного классификатора частиц 2, а остальная смесь углеводород-катализатор выводится из реактора с псевдоожиженным слоем 1 посредством выпускного трубопровода воздушного классификатора частиц 2.

Количество воздушных классификаторов частиц, установленных во внутреннем пространстве корпуса реактора, можно подобрать в соответствии с производительностью реактора с псевдоожиженным слоем с учетом того, что смесь углеводород-катализатор, образовавшуюся в процессе адсорбционной десульфуризации, можно должным образом подвергнуть разделению, а отделенные углеводородные продукты могут быть выведены из реактора. С точки зрения дальнейшего уменьшения вероятности дробления частиц катализатора при классификации отношение полной площади поперечного сечения, проведенного перпендикулярно направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия воздушного классификатора частиц, к горизонтальному поперечному сечению зоны седиментации может быть 0,01-0,4:1, предпочтительно 0,05-0,3:1. В том случае, когда количество воздушных классификаторов частиц равно одному, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия означает площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия, имеющегося в воздушном классификаторе частиц; а в том случае, когда количество воздушных классификаторов частиц больше одного, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, направляющего входного отверстия означает полную площадь поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющих входных отверстий, имеющихся в более чем одном воздушном классификаторе частиц.

В соответствии с реакторным устройством для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению, с точки зрения дальнейшего уменьшения количества мелких частиц, содержащихся в конечных углеводородных продуктах, и повышения извлечения катализатора, как показано на фиг. 3 и 4, реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации предпочтительно дополнительно включает улавливатель мелкого порошка катализатора 7, установленный в корпусе реактора. Входное отверстие улавливателя мелкого порошка катализатора 7 соединено с выпускным трубопроводом воздушного классификатора частиц 2. Улавливатель мелкого порошка катализатора 7 предназначен для улавливания мелкого порошка катализатора, содержащегося в смеси, выходящей из выпускного трубопровода

воздушного классификатора частиц 2.

Улавливатель мелкого порошка катализатора 7 может быть любым обычным улавливателем мелкого порошка катализатора, способным осуществлять вышеуказанные функции, и предпочтительно является фильтром для мелкого порошка, например высокотемпературным фильтром, составленным из полиметаллических фильтрующих трубок. Металлические фильтрующие трубки имеют структуру со сквозными отверстиями. В процессе работы поток газа из выпускного трубопровода воздушного классификатора частиц 2 входит в металлические фильтрующие трубки через сквозные отверстия в металлических фильтрующих трубках, при этом мелкие порошки катализатора блокируются в металлических фильтрующих трубках. Когда падение сопротивления внутри и снаружи фильтрующих трубок достигает определенного значения, производится импульсная обратная продувка фильтрующих трубок с целью удалить пыль, которая собирается на стенках фильтрующих трубок, за счет удара, вызванного обратной продувкой. Металлическая фильтрующая трубка и импульсная система сжатого воздуха коммерчески доступны и в данном описании подробно не рассматриваются. В другом варианте осуществления настоящего изобретения улавливатель мелкого порошка катализатора также может быть циклонным сепаратором (показан на фиг. 5 и будет подобно рассмотрен ниже).

Входное отверстие улавливателя мелкого порошка катализатора 7 может быть соединено с выпускным трубопроводом воздушного классификатора частиц 2 любыми обычными средствами таким образом, что углеводородная смесь из выпускного трубопровода воздушного классификатора частиц 2 направляется в улавливатель мелкого порошка катализатора 7 для проведения классификации. Как показано на фиг. 3 и 4, выпускной трубопровод воздушного классификатора частиц 2 и входное отверстие улавливателя мелкого порошка катализатора 7 могут быть связаны соединительным трубопроводом 5.

Углеводородные продукты 6, полученные путем разделения в улавливателе мелкого порошка катализатора 7, затем могут быть направлены в блок очистки и переработки для последующей обработки. Мелкий порошок катализатора, полученный при отделении в улавливателе мелкого порошка катализатора 7, выгружается с помощью трубопровода для выгрузки твердой фазы 23 улавливателя мелкого порошка катализатора 7. Выгруженный порошок мелкого порошка катализатора может по трубопроводу 10 поступать в накопитель 8 для хранения мелкого порошка катализатора. В соответствии с требованиями распределения частиц катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем часть извлеченного мелкого порошка катализатора возвращается обратно в реактор с псевдоожиженным слоем по трубопроводу 9.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения улавливатель мелкого порошка катализатора включает второй выпускной трубопровод 9, при этом второй выпускной трубопровод 9 соединен с разгрузочным трубопроводом для твердой фазы 23 и герметично проходит через боковую стенку корпуса реактора, входит в корпус реактора и продолжается до реакционной зоны, так что часть отделенных частиц катализатора поступает в реакционную зону.

В частности, как показано на фиг. 3, смесь углеводородов из выпускного трубопровода воздушного классификатора частиц 2 направляется на фильтр для мелкого порошка катализатора 7 по соединительному трубопроводу 5 с целью отделения тонкого порошка катализатора, где полученные углеводородные продукты 6 выводятся из верхней части фильтра для мелкого порошка катализатора 7 и направляются в следующий блок очистки и переработки; полученный тонкий порошок катализатора

посредством разгрузочного трубопровода для твердой фазы 23 фильтра для мелкого порошка катализатора 7 направляется через двухходовой клапан 21 транспортирующего трубопровода 10 в контейнер для хранения мелкого порошка катализатора 8 и/или вновь вводится с помощью транспортирующего трубопровода 10 в реакционную зону I. Путем регулирования двухходового клапана 21 можно регулировать количество катализатора, направляемого в контейнер для хранения мелкого порошка катализатора 8, и размер частиц катализатора, который вновь вводится в реакционную зону.

В соответствии с реакторным устройством для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению поток твердой фазы из разгрузочного трубопровода для твердой фазы улавливателя мелкого порошка катализатора может быть также направлен в прецизионный классификатор с целью классификации мелкого порошка катализатора, захваченного в улавливателе мелкого порошка катализатора, откуда катализатор с частицами большего размера вновь вводится в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем, а катализатор с меньшим размером частиц отбрасывается. Указанное позволяет дополнительно сократить накопление мелкого порошка катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем, а также еще больше повысить однородность катализатора и дополнительно снизить потребление катализатора.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения выпускное отверстие улавливателя мелкого порошка катализатора соединяется с загрузочным отверстием классификатора мелкого порошка катализатора; классификатор мелкого порошка катализатора включает второй выпускной трубопровод для получения более крупных частиц катализатора, фракционированных в классификаторе мелкого порошка, где второй выпускной трубопровод герметично проходит через боковую стенку корпуса реактора, проникает в корпус реактора и продолжается до реакционной зоны.

Классификатором мелкого порошка может быть любой обычный классификатор, который способен классифицировать мелкий порошок по размеру частиц, например прецизионный классификатор мелкого порошка.

В частности, как показано на фиг. 5, поток твердой фазы из отводного колена 42 циклонного сепаратора 41 направляется в классификатор мелкого порошка 43, чтобы подвергнуться дальнейшему разделению. Фракционированные более мелкие частицы катализатора направляются в контейнер для хранения мелкого порошка катализатора 8 по третьему выпускному трубопроводу 10 и, если необходимо, регулярно выгружаются с помощью вентиля 44. Фракционированные более крупные частицы катализатора направляются в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем с помощью второго выпускного трубопровода 9.

Выбор подходящего классификатора мелкого порошка и подбор его рабочего режима для разделения и классификации твердых частиц с определенным размером частиц вполне в компетенции специалиста в данной области техники и легко может быть сделан путем проведения ограниченного набора экспериментов, а потому не будет обсуждаться подробно.

В реакторе с псевдоожиженным слоем по настоящему изобретению воздушный классификатор частиц по настоящему изобретению используется в качестве встроенного классификатора и способен эффективно отделять частицы большего размера. Кроме того, в процессе разделения вероятность дробления частиц низка. Таким образом, реактор с псевдоожиженным слоем по настоящему изобретению наиболее пригоден в качестве реактора для адсорбционной десульфуризации углеводородного сырья.

Таким образом, в настоящем изобретении предлагается использование реактора с

псевдоожиженным слоем по настоящему изобретению в качестве реактора для адсорбционной десульфуризации углеводородного сырья. В том случае, когда реактор для адсорбционной десульфуризации используют в качестве реактора для адсорбционной десульфуризации углеводородного сырья, тип углеводородного сырья и условия адсорбционной десульфуризации особо не ограничиваются и могут быть такими, которые обычно используют в данной области техники.

Чтобы проводить адсорбционную десульфуризацию серосодержащего углеводородного сырья, реактор с псевдоожиженным слоем по настоящему изобретению может быть соединен с регенератором для отработанного катализатора (т.е. регенератором катализатора) и восстановителем для регенерированного катализатора (т.е. восстановителем катализатора). Углеводородные продукты и отработанный катализатор выделяют из полученной смеси углеводород-катализатор и отработанный катализатор подвергают регенерации и восстановлению. Может быть организована непрерывная работа устройства.

В соответствии с реакторным устройством для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению, как показано на фиг. 4, реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации дополнительно включает регенератор катализатора 15 и восстановитель катализатора 14, где регенератор катализатора 15 используют для регенерации отработанного катализатора, а восстановитель катализатора 14 используют для восстановления регенерированного катализатора с целью восстановления его каталитической активности. Регенератор катализатора и восстановитель катализатора могут быть соединены с внутренним пространством реактора с псевдоожиженным слоем обычным средствами, так что отработанный катализатор направляется в регенератор катализатора с целью его регенерации, а восстановленный катализатор рециклируется в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем.

В частности, как показано на фиг. 4, может быть установлен накопитель отработанного катализатора 13. Отработанный катализатор подается по транспортирующему трубопроводу 11 в накопитель отработанного катализатора 13; накопитель отработанного катализатора 13 соединен с контейнером промежуточного хранения регенератора 19 через шлюзовый бункер 20; и отработанный катализатор для регенерации направляется в регенератор катализатора 15 через контейнер регенератора для промежуточного хранения 19. Регенерированный катализатор для проведения восстановления поступает в накопитель регенерированного катализатора 18 и направляется в восстановитель катализатора 14 через шлюзовый бункер 20. Полученный восстановленный катализатор рециклируется в реакционную зону I реактора с псевдоожиженным слоем 1 по транспортному трубопроводу восстановленного катализатора 4.

Верхняя часть накопителя отработанного катализатора соединена с реактором с псевдоожиженным слоем посредством трубопровода для транспортировки катализатора, а нижняя его часть соединена со шлюзовым бункером. С точки зрения уменьшения шероховатости отработанного катализатора, поступающего в накопитель отработанного катализатора, как показано на фиг. 4, предпочтительно трубопровод подачи газа 12 устанавливается в верхней части накопителя отработанного катализатора 13 и соединяется с зоной седиментации II реактора с псевдоожиженным слоем 1, так что внутреннее пространство накопителя отработанного катализатора 13 соединено с зоной седиментации реактора с псевдоожиженным слоем 1.

Способ адсорбционной десульфуризации

В настоящем изобретении предлагается также способ адсорбционной десульфуризации, при этом указанный способ осуществляют в реакторном устройстве для проведения адсорбционной десульфуризации, которое предлагается в настоящем изобретении.

Способ адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению включает: контактирование серосодержащего углеводородного сырья и катализатора адсорбционной десульфуризации в реакционной зоне реактора с псевдоожиженным слоем с целью удаления по меньшей мере части элементарной серы из углеводородного сырья.

В соответствии с настоящим изобретением серосодержащее углеводородное сырье специально не ограничивается и может быть любым обычным серосодержащим углеводородным сырьем, для которого необходима адсорбционная десульфуризация. Преимущественно серосодержащее углеводородное сырье может быть одним или несколькими из следующих типов: бензин прямой перегонки, бензин каталитического крекинга и бензин коксования.

Катализатор адсорбционной десульфуризации может быть любым обычным используемым в данной области техники катализатором адсорбционной десульфуризации, предпочтительно является катализатором адсорбционной десульфуризации, включающим цинк в качестве активного компонента.

Можно выбрать удобный размер частиц катализатора адсорбционной десульфуризации при условии, что их использование позволяет получить псевдоожиженный слой. В общем случае размер частиц катализатора адсорбционной десульфуризации может быть равен 20-150 мкм. В соответствии с настоящим изобретением размер частиц катализатора представляет собой объемно-усредненный размер частиц, и его определяют с помощью лазерного анализатора размера частиц.

В соответствии со способом по настоящему изобретению контактирование серосодержащего углеводородного сырья и катализатора адсорбционной десульфуризации осуществляют в атмосфере, содержащей газообразный водород. Газообразный водород и серосодержащее углеводородное сырье подают вместе через входное отверстие в нижней части реактора с псевдоожиженным слоем в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем. Количество используемого газообразного водорода может быть выбрано обычным образом. В общем случае в исходном сырье для реактора с псевдоожиженным слоем молярное отношение газообразного водорода к серосодержащему углеводородному сырью может быть 0,1-2:1, предпочтительно 0,15-1,5:1, более предпочтительно 0,2-1:1. В соответствии со способом по настоящему изобретению условия для контактирования серосодержащего углеводородного сырья и катализатора адсорбционной десульфуризации специально не ограничиваются и могут быть выбраны обычным образом при условии, что элементарная сера, содержащаяся в серосодержащем углеводородном сырье, может быть удалена до контролируемого уровня. В общем случае температура контактирования может составлять 300-500°C, преимущественно 320-480°C; манометрическое давление в реакторе с псевдоожиженным слоем может быть 5-50 атм, преимущественно 10-45 атм; среднечасовая скорость подачи серосодержащего углеводородного сырья может быть 1-15 $час^{-1}$, преимущественно 2-12 $час^{-1}$. В соответствии со способом по настоящему изобретению, с точки зрения усиления эффективности десульфуризации, плотность псевдоожиженного плотного слоя катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем предпочтительно составляет 100-700 $кг/м^3$, преимущественно составляет 150-500 $кг/м^3$.

Способ по настоящему изобретению дополнительно включает разделение полученной смеси углеводород-катализатор последовательно в зоне седиментации, воздушном классификаторе частиц, необязательном улавливателе мелкого порошка катализатора и необязательном классификаторе мелкого порошка катализатора с получением углеводородных продуктов и отработанного катализатора.

Полученная в реакционной зоне смесь углеводород-катализатор поступает сверху в зону седиментации. В зоне седиментации кажущаяся скорость смеси углеводород-катализатор снижается и несущая способность уменьшается. Часть частиц катализатора, имеющих большой размер, оседает под действием силы тяжести и возвращается в реакционную зону. Оставшаяся смесь углеводород-катализатор поступает во внутреннее пространство основного блока классификатора через направляющее входное отверстие воздушного классификатора частиц и подвергается разделению и классификации. Частицы большего размера отделяются и возвращаются в плотный псевдоожиженный слой реакционной зоны посредство выпускного отверстия воздушного классификатора частиц. Полученный продукт в виде смеси углеводородов выводится или направляется в улавливатель мелкого порошка катализатора для дальнейшего разделения, с целью получения углеводородных продуктов и мелкого порошка катализатора. В том случае, когда мелкие частицы катализатора в реакционном слое находятся ниже нормального уровня, часть мелкого порошка катализатора можно вновь ввести в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем. Предпочтительно, мелкий порошок катализатора из улавливателя мелкого порошка катализатора может быть отделен и фракционирован в классификаторе мелкого порошка с целью получения частиц катализатора большего размера и частиц катализатора меньшего размера, и часть всех частиц катализатора большего размера вновь вводят в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем.

В соответствии со способом по настоящему изобретению, поскольку смесь углеводород-катализатор выводится из реактора с псевдоожиженным слоем, снабженного воздушным классификатором частиц, то смесь углеводород-катализатор разделяется и классифицируется за счет комбинированного действия центрифужной силы, вызванной образованием стабильной области вихревого течения циркуляционного потока, силы внутреннего трения, вызванной воздействующим на частицы катализатора газом, и силы тяжести в воздушном классификаторе частиц с получением частиц катализатора большего размера и частиц катализатора меньшего размера, и при разделении и классификации может быть выделена группа частиц, имеющих конкретный размер, путем контролирования линейных скоростей потоков у направляющего входного отверстия и направляющего выходного отверстия.

В соответствии со способом по настоящему изобретению при использовании реакторного устройства для проведения адсорбционной десульфуризации, предлагаемого в настоящем изобретении, отношение линейной скорости подачи смеси углеводород-катализатор, поступающей из зоны седиментации, в направляющем входном отверстии воздушного классификатора частиц к линейной скорости подачи смеси углеводород-катализатор в направляющем выходном отверстии основного блока классификатора может быть 1:1,2-1,5, преимущественно составляет 1:1,5-2.

При условии, что частицы катализатора конкретного размера могут быть отделены, с точки зрения дополнительного снижения вероятности вторичного дробления частиц катализатора при разделении и классификации, линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор, поступающей из зоны седиментации, в направляющем входном отверстии воздушного классификатора частиц может быть равна 0,8-10 м/с,

предпочтительно, 1-8 м/с, более предпочтительно, 1,5-5 м/с; линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор в направляющем выходном отверстии основного блока классификатора частиц, может быть равна 1,5-16 м/с, предпочтительно, 2-12 м/с, более предпочтительно, 2,5-10 м/с.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор, выходящей из зоны седиментации, в направляющем входном отверстии воздушного классификатора частиц составляет 0,8-10 м/с, а линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор в основном блоке воздушного классификатора частиц у направляющего выходного отверстия составляет 2,5-16 м/с.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор, выходящей из зоны седиментации, составляет 1-8 м/с, а линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор в основном блоке воздушного классификатора частиц составляет 2-12 м/с.

В более предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор, выходящей из зоны седиментации, в направляющем входном отверстии воздушного классификатора частиц составляет 1,5-5 м/с, а линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор в основном блоке воздушного классификатора частиц у направляющего выходного отверстия составляет 2,5-10 м/с.

Линейная скорость подачи в направляющем входном отверстии представляет собой отношение объемной скорости газового потока, выходящего из воздушного классификатора частиц, к полной площади поперечного сечения направляющего входного отверстия, проведенного перпендикулярно направлению потока воздуха, а линейная скорость подачи в направляющем выходном отверстии представляет собой отношение объемной скорости потока газа, выходящего из воздушного классификатора частиц, к полной площади поперечного сечения направляющего выходного отверстия, проведенного перпендикулярно направлению потока воздуха.

В соответствии со способом по настоящему изобретению частицы катализатора, имеющие размер >20 мкм, предпочтительно >25 мкм, более предпочтительно >30 мкм, могут быть отделены и возвращены в реакционную зону.

Скорость смеси углеводород-катализатор у направляющего входного отверстия воздушного классификатора частиц и скорость смеси углеводород-катализатор у направляющего выходного отверстия воздушного классификатора частиц может быть подобрана путем регулирования давления или потока реакционной смеси через реактор с псевдоожиженным слоем.

В соответствии со способом по настоящему изобретению мелкий порошок катализатора, размер частиц которого достаточен, чтобы удовлетворять требованиям реактора с псевдоожиженным слоем, предпочтительно отделяется от мелкого порошка катализатора, выходящего из улавливателя мелкого порока катализатора, с помощью классификатора мелкого порошка, и вновь поступает в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем. Способ подбора типа классификатора мелкого порошка и регулирование его рабочего режима таким образом, чтобы можно было отделять мелкий порошок катализатора, имеющего заданный размер частиц, хорошо известен из данной области техники и не будет подробно рассматриваться в данном описании.

Способ по настоящему изобретению дополнительно включает направление по меньшей мере части отработанного катализатора в регенератор катализатора с тем, чтобы подвергнуть его регенерации, восстановление регенерированного катализатора в блоке восстановления катализатора и рециклирование по меньшей мере части

восстановленного катализатора в реакционную зону.

В соответствии с настоящим изобретением способ регенерации отработанного катализатора специально не ограничивается и может быть выбран обычным образом. Например, регенерацию можно проводить согласно способу, который раскрыт в CN1323137C. В частности, отработанный катализатор может быть регенерирован в атмосфере, содержащей газообразный кислород. Условия регенерации включают следующие: температура может быть 350-650°C; абсолютное давление может быть 240-1134 кПа; кажущаяся линейная скорость газа, содержащего кислород, может быть 0,3-1,5 м/с.

В соответствии с настоящим изобретением способ восстановления регенерированного катализатора специально не ограничивается. Регенерированный катализатор может быть восстановлен в обычных условиях. В общем случае регенерированный катализатор и газ, содержащий водород (H_2), могут заставить контактировать, чтобы восстановить регенерированный катализатор. Условия для проведения восстановления могут быть выбраны обычным образом. В общем случае условия восстановления включают следующие: температура может быть 300-550°C; абсолютное давление может быть 800-3000 кПа; кажущаяся линейная скорость газа, содержащего водород, может быть 0,1-2 м/с. Газообразный водород используют в количестве, достаточном для восстановления регенерированного катализатора.

В соответствии со способом по настоящему изобретению перед тем как направить регенерированный катализатор в блок восстановления, чтобы осуществить восстановление, катализатор предпочтительно продувают газообразным азотом, чтобы удалить газообразный кислород, захваченный регенерированным катализатором. Очистку от кислорода можно продолжить в накопителе регенерированного катализатора. В соответствии с настоящим изобретением условия очистки специально не ограничиваются и могут быть выбраны обычным образом при условии, что может быть удален газообразный кислород, захваченный регенерированным катализатором.

Далее в настоящем описании со ссылкой на фиг. 4 будет подробно описан предпочтительный вариант способа адсорбционной десульфуризации по настоящему изобретению. Исходное сырье, которое включает серосодержащее углеводородное сырье, и газообразный водород, направляют в реакционную зону I реактора с псевдоожиженным слоем через входное отверстие реактора с псевдоожиженным слоем 1, где оно контактирует с катализатором адсорбционной десульфуризации, с целью удаления по меньшей мере части элементарной серы из серосодержащего углеводородного сырья.

Полученная смесь углеводород-катализатор поступает в зону седиментации II реактора с псевдоожиженным слоем. Частицы катализатора большего размера осаждаются под действием силы тяжести и возвращаются в реакционную зону I. Смесь углеводород-катализатор, выходящая из зону седиментации II, поступает в воздушный классификатор частиц 2 через направляющее входное отверстие. Частицы катализатора большего размера (в частности, частицы катализатора с размером >20 мкм, предпочтительно >25 мкм, более предпочтительно >30 мкм) отделяются от смеси и вновь направляются в реакционную зону I реактора с псевдоожиженным слоем. Смесь, которая выходит из воздушного классификатора частиц 2, поступает в улавливатель мелких частиц катализатора 7 через транспортирующий трубопровод 5 с целью получения после разделения углеводородных продуктов 6. Мелкий порошок катализатора, который собирают в улавливателе мелких частиц катализатора 7, может быть сразу же направлен в контейнер для хранения мелкого порошка катализатора 8

через транспортирующий трубопровод 10 и, в случае необходимости, вывезен. Согласно требованиям реактора с псевдоожиженным слоем, предъявляемым к распределению размеров частиц катализатора, часть мелкого порошка катализатора может быть вновь введена в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем через транспортирующий трубопровод 9.

Отработанный катализатор реакционной зоны I реактора с псевдоожиженным слоем подается в сборник отработанного катализатора 13 по трубопроводу 11, затем в контейнер промежуточного хранения регенератора 19 через шлюзовый бункер 20 и, наконец, в регенератор катализатора 15 для регенерации. Содержащий кислород газ 30 (такой как смесь, содержащая газообразный кислород и газообразный азот) поступает в нижнюю часть регенератора катализатора 15, а газ 16, образовавшийся при регенерации, покидает регенератор катализатора 15 через верхнюю часть регенератора.

Регенерированный катализатор поступает в приемник регенерированного катализатора 18 и освобождается от кислорода с помощью газообразного азота 17 в приемнике регенерированного катализатора 18, а затем попадает в приемник катализатора 14 через шлюзовый бункер 20 с тем, чтобы провести восстановление катализатора в атмосфере, содержащей газообразный водород. Полученный восстановленный катализатор вновь вводится в реакционную зону I реактора с псевдоожиженным слоем с помощью транспортирующего трубопровода 4.

ПРИМЕРЫ

Настоящее изобретение поясняется следующими примерами. Следует понимать, что объем настоящего изобретения указанными примерами не ограничивается.

В приведенных примерах серосодержащее углеводородное сырье подвергают адсорбционной десульфуризации в реакторном устройстве для проведения адсорбционной десульфуризации, как показано на фиг. 4, где реактор с псевдоожиженным слоем представляет собой прямотрубный реактор, внутренний диаметр которого равен 120 мм, а высота внутреннего пространства реактора равна 3000 мм. В реакторе с псевдоожиженным слоем установлен воздушный классификатор частиц. Высота внутреннего пространства основного блока классификатора воздушного классификатора частиц равна 300 мм. Диаметр зоны в виде прямой трубы равен 70 мм. Отношение высоты зоны в виде прямой трубы к высоте конической зоны составляет 1:1,4.

Расходомер устанавливают в соединительном трубопроводе 5, который связывает выпускной трубопровод воздушного классификатора частиц и входное отверстие улавливателя мелкого порошка катализатора, с целью определения объемной скорости потока (выраженной через Q) смеси углеводородов, выходящей из воздушного классификатора частиц, а линейную скорость в направляющем входном отверстии воздушного классификатора частиц и линейную скорость в направляющем выходном отверстии воздушного классификатора частиц рассчитывают по следующим формулам:

$V_{\text{направляющее входное отверстие}} = Q/A_1$;

$V_{\text{направляющее выходное отверстие}} = Q/A_2$;

A_1 означает полную площадь поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия; A_2 означает полную площадь поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, для направляющего выходного отверстия.

В следующих примерах и сравнительных примерах размер частиц и средний размер частиц определяют с помощью лазерного анализатора, который приобретен в компании

Malvern Company, где средний размер частиц представляет собой объемно-усредненный размер частиц.

В следующих примерах и сравнительных примерах удельная площадь поверхности и объем пор (PV) катализатора определяют объемным статическим методом измерения изотерм адсорбции азота.

Для пояснения настоящего изобретения используют примеры 1-4.

Пример 1

В данном примере зону воздушного классификатора частиц в виде прямой трубы оборудуют 4 направляющими входными отверстиями, расположенными вдоль тангенциального направления воздушного классификатора частиц (направляющие входные отверстия распределены вдоль окружности зоны в виде прямой трубы, как показано на фиг. 2) и каждое из направляющих входных отверстий имеет одно и то же поперечное сечение, перпендикулярно направлению потока воздуха); выпускной трубопровод воздушного классификатора частиц оборудован 4 направляющими выходными отверстиями, расположенными вдоль тангенциального направления воздушного классификатора частиц (направляющие выходные отверстия распределены вдоль окружности зоны разгрузочного трубопровода, как показано на фиг. 2), и каждое из направляющих выходных отверстий имеет одно и то же поперечное сечение, перпендикулярно направлению потока воздуха); разность между площадью горизонтального поперечного сечения зоны в виде прямой трубы и площадью горизонтального сечения выпускного трубопровода равна A_0, полная площадь сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия равна A_1, полная площадь сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего выходного отверстия равна A_2, отношение A_1/A_0 равно 0,4:1, отношение A_2/A_0 равно 0,2:1; отношение площади поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для выпускного трубопровода к горизонтальной площади поперечного сечения зоны в виде прямой трубы равно 0,3:1; расстояние от нижнего края направляющего входного отверстия до дна зоны, имеющей вид трубы, равно H_1, расстояние от нижнего края направляющего выходного отверстия до дна зоны в виде прямой трубы равно H_2, отношение H_1/H_2 равно 1:0,3; отношение полной площади поперечного сечения, перпендикулярного направлению потока воздуха, для направляющего входного отверстия к горизонтальной площади поперечного сечения зоны седиментации равно 0,3:1.

Улавливатель мелкого порошка катализатора, который используют в данном примере, представляет собой фильтр рукавного типа из нержавеющей стали, при этом два фильтра рукавного типа из нержавеющей стали устанавливают параллельно в цилиндрической оболочке, смесь углеводород-катализатор из воздушного классификатора частиц направляют в оболочку фильтра рукавного типа из нержавеющей стали, при этом фильтр рукавного типа из нержавеющей стали имеет внутренний диаметр 80 мм, а длина его составляет 400 мм, полые отверстия в рукавном фильтре имеют средний диаметр пор 0,2 мкм; а оболочка имеет внутренний диаметр 240 мм.

Серосодержащее углеводородное сырье (оно представляет собой серосодержащий бензин, его свойства приведены в таблице 2) и газообразный водород в молярном отношении 0,2:1 направляют в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем, где они контактируют с катализатором адсорбционной десульфуризации (производится компанией Sinopec Corp. Research Institute of Petroleum Processing, FCAS-R09, свойства

регенерированного катализатора приведены в таблице 1), с целью удаления по меньшей мере части элементарной серы из углеводородного сырья, при этом температура контактирования равна 400°C, манометрическое давление составляет 26 атм, среднечасовая скорость подачи серосодержащего углеводородного сырья составляет 4 $час^{-1}$.

Полученную после контактирования смесь углеводород-катализатор направляют через зону седиментации в воздушный классификатор частиц, где смесь углеводород-катализатор имеет линейную скорость 1,5 м/с у направляющего входного отверстия воздушного классификатора частиц, а линейная скорость у направляющего выходного отверстия воздушного классификатора частиц составляет 3 м/с.

Смесь углеводород-катализатор из воздушного классификатора частиц подвергают дальнейшему разделению в фильтре рукавного типа из нержавеющей стали и получают углеводородные продукты и мелкий порошок катализатора. Мелкий порошок катализатора направляют в сборник мелкого порошка катализатора, а углеводородные продукты направляют в следующий блок рафинирования и переработки.

Отработанный катализатор регенерируют в регенераторе катализатора, регенерированный катализатор направляют в блок восстановления катализатора для его восстановления, а восстановленный катализатор вновь направляют в реакционную зону реактора с псевдоожиженным слоем, при этом условия для регенерации включают следующие: температура составляет 510°C; абсолютное давление составляет 400 кПа; кажущаяся линейная скорость газа, содержащего кислород, составляет 0,45 м/с; условия для восстановления включают следующие: температура составляет 400°C; абсолютное давление составляет 3000 кПа; а кажущаяся линейная скорость газа, содержащего водород, составляет 0,4 м/с.

Реакцию непрерывно осуществляют в течение 500 ч. В процессе реакции контролируют состав образующихся углеводородных продуктов, средний размер частиц катализатора в сборнике мелкого порошка катализатора и средний размер частиц катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем. Результаты приведены в таблице 3. Через 500 ч проведения реакции содержание катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем, имеющего размер частиц меньше чем 30 мкм, составляет 6,5% мас. Общее количество катализатора, загруженного в реактор с псевдоожиженным слоем до начала реакции, составляет 14,2 кг, в общей сложности 1,28 кг катализатора добавлено в псевдоожиженный слой в процессе реакции; и 1,82 кг мелкого порошка катализатора собрано в сборнике мелкого порошка катализатора через 500 ч.

Таблица 1	
Объемная плотность, г/ $см^{-3}$	1,2498
Удельная площадь поверхности, $м^2/г$	23
PV, $см^3/г$	0,12
Содержание серы, % мас.	4,72
Коксовый остаток, % мас.	0,53
Распределение размеров частиц, % мас.	
0-20 мкм	4,46
0-49 мкм	10,93
Средний размер частиц, мкм	68,89

Таблица 2	
Плотность d 20°/г·$см^{-3}$	0,7381

Содержание серы/мкг·г$^{-1}$		295
Содержание олефинов/%		25,35
Октановое число	RON	90,7
	MON	80,9
Диапазон дистилляции/°C	Начальная температура кипения	20,9
	5%	29,9
	10%	31,5
	30%	55,6
	50%	89,0
	70%	137,1
	90%	182,1
	95%	199,6
	Конечная температура кипения	228,3

Таблица 3

Время/ч		100	200	300	400	500
Содержание серы в продукте/мас.ч./млн		4,5	3,2	5,8	4,6	3,4
Величина снижения антидетонационного индекса*		0,58	0,48	0,65	0,62	0,55
Средний размер частиц катализатора/ мкм	Сборник мелкого порошка	15,3	15,3	14,8	16,2	16,7
	Плотный слой катализатора	70,5	67,9	69,5	66,7	64,5

*: На основании антидетонационного индекса серосодержащего бензина в качестве углеводородного сырья, где антидетонационный индекс = (RON+MON)/2

Пример 2

Адсорбционную десульфуризацию проводят так же, как в примере 1, за исключением того, что A_1/A_0 равно 0,24:1, A_2/A_0 равно 0,15:1, линейная скорость смеси углеводород-катализатор в направляющем входном отверстии воздушного классификатора частиц составляет 2,5 м/с, а линейная скорость в направляющем выходном отверстии воздушного классификатора частиц составляет 4 м/с.

Реакцию непрерывно осуществляют в течение 500 ч. В процессе реакции контролируют состав образующихся углеводородных продуктов, средний размер частиц катализатора в сборнике мелкого порошка катализатора и средний размер частиц катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем. Результаты приведены в таблице 4. Через 500 ч проведения реакции содержание катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем, имеющего размер частиц меньше чем 30 мкм, составляет 9,5% мас. Общее количество катализатора, загруженного в реактор с псевдоожиженным слоем до начала реакции, составляет 14,2 кг, в общей сложности 1,34 кг катализатора добавлено в псевдоожиженный слой в процессе реакции; и 1,88 кг мелкого порошка катализатора собрано в сборнике мелкого порошка катализатора через 500 ч.

Таблица 4

Время/ч		100	200	300	400	500
Содержание серы в продукте/мас.ч./млн		3,5	3,6	4,8	4,3	3,5
Величина снижения антидетонационного индекса		0,55	0,38	0,62	0,65	0,58
Средний размер частиц катализатора/ мкм	Сборник мелкого порошка	13,4	14,5	15,7	16,3	17,8
	Плотный слой катализатора	72,3	69,3	67,7	68,0	65,6

Сравнительный пример 1

Адсорбционную десульфуризацию проводят так же, как в примере 1, за исключением того, что воздушный классификатор частиц заменяют фильтром рукавного типа из нержавеющей стали (который тот же, что и улавливатель мелкого порошка катализатора по примеру 1, однако цилиндрическую оболочку не используют и применяют лишь один фильтр рукавного типа из нержавеющей стали). После проведения реакции смесь

углеводородов направляют из фильтра в следующий блок рафинирования и переработки.

Реакцию непрерывно осуществляют в течение 500 ч. В процессе реакции контролируют состав образующихся углеводородных продуктов и средний размер частиц катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем. Результаты приведены в таблице 5. Через 500 ч проведения реакции содержание катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем, имеющего размер частиц меньше чем 30 мкм, составляет 26,5% мас. Общее количество катализатора, загруженного в реактор с псевдоожиженным слоем до начала реакции, составляет 14,2 кг, и в общей сложности 0,3 кг катализатора добавлено в псевдоожиженный слой в процессе реакции.

Таблица 5					
Время/ч	100	200	300	400	500
Содержание серы в продукте/ мас.ч./млн	4,5	8,2	11,8	14,6	32,4
Интервал обратной промывки фильтра/ сек	300	210	150	100	65
Величина снижения антидетонационного индекса	0,52	0,58	0,66	0,55	0,72
Средний размер частиц катализатора в плотном слое/ мкм	65,3	58,7	54,3	48,5	47,6

Сравнительный пример 2

Адсорбционную десульфуризацию проводят так же, как в примере 1, за исключением того, что воздушный классификатор частиц заменяют циклонным сепаратором, при этом входное отверстие циклонного сепаратора (количество входных отверстий равно одному) имеет диаметр 30 мм, входное отверстие размещают в верхней части зоны в виде прямой трубы в тангенциальном направлении, где верхний край входного отверстия находится на одной линии с верхней частью зоны в виде прямой трубы диаметр зоны в виде прямой трубы составляет 40 мм, высота зоны в виде прямой трубы составляет 48 мм, высота конической зоны составляет 68 мм, линейная скорость смеси углеводород-катализатор, выходящей из зоны седиментации, у входного отверстия составляет 18 м/с, а линейная скорость смеси углеводород-катализатор в циклонном сепараторе у выпускного отверстия составляет 20 м/с.

Реакцию непрерывно осуществляют в течение 500 ч. В процессе реакции контролируют состав образующихся углеводородных продуктов, средний размер частиц катализатора в сборнике мелкого порошка катализатора и средний размер частиц катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем. Результаты приведены в таблице 6. Через 500 ч проведения реакции содержание катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем, имеющего размер частиц меньше чем 30 мкм, составляет 22,3% мас. Общее количество катализатора, загруженного в реактор с псевдоожиженным слоем до начала реакции, составляет 14,2 кг, в общей сложности 1,7 кг катализатора добавлено в псевдоожиженный слой в процессе реакции; и 2,3 кг мелкого порошка катализатора собрано в сборнике мелкого порошка катализатора через 500 ч.

Таблица 6						
Время/ч		100	200	300	400	500
Содержание серы в продукте/ мас.ч./млн		4,5	8,2	11,8	14,6	32,4
Величина снижения антидетонационного индекса		0,52	0,58	0,66	0,55	0,72
Средний размер частиц катализатора/ мкм	Сборник мелкого порошка	8,2	8,5	8,9	9,5	9,4
	Плотный слой катализатора	67,2	57,8	56,3	48,9	48,5

Сравнивая Пример 1 и Сравнительный пример 1, можно увидеть, что адсорбционная десульфуризация серосодержащего углеводородного сырья с использованием реакторного устройства для проведения адсорбционной десульфуризации по настоящему

изобретению способна не только эффективно и устойчиво удалять элементарную серу из углеводородного сырья, но и должным образом выводить из реактора с псевдоожиженным слоем мелкий порошок катализатора, который образуется в системе. В процессе разделения смеси углеводород-катализатор не происходит или практически не происходит вторичное дробление частиц катализатора, а потому можно эффективно предотвратить накопление мелкого порошка катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем и обеспечить длительную и устойчивую работу реакторного устройства для проведения адсорбционной десульфуризации. Сравнивая Пример 1 и Сравнительный пример 2, можно увидеть, что при использовании циклонного сепаратора в качестве внутреннего сепаратора реактора с псевдоожиженным слоем потребление катализатора заметно возрастает, а размер частиц порошка катализатора в сборнике для хранения уменьшается. Это показывает, что при использовании циклонного сепаратора для разделения и классификации смеси углеводород-катализатор высока вероятность вторичного дробления частиц катализатора. При использовании циклонного сепаратора для проведения разделения и классификации, вследствие высокого содержания мелкого порошка катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем, эффективность десульфуризации снижается и трудно добиться удовлетворительного эффекта десульфуризации.

Пример 3

Адсорбционную десульфуризацию проводят так же, как в примере 1, за исключением того, что в зоне в виде прямой трубы воздушного классификатора частиц в тангенциальном направлении размещают 6 направляющих входных отверстий (направляющие входные отверстия распределены вдоль окружности зоны в виде прямой трубы (как показано на фиг. 2) и каждое из направляющих входных отверстий имеет одну и ту же площадь поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха); в выпускном трубопроводе воздушного классификатора частиц в тангенциальном направлении размещают 6 направляющих выходных отверстий (направляющие выходные отверстия распределены вдоль окружности выпускного трубопровода (как показано на фиг. 2) и каждое из направляющих выходных отверстий имеет одну и ту же площадь поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха);

разность между площадью горизонтального поперечного сечения зоны в виде прямой трубы и площадью горизонтального сечения выпускного трубопровода равна A_0, полная площадь сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, направляющего входного отверстия равна A_1, полная площадь сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, направляющего выходного отверстия равна A_2, отношение A_1/A_0 равно 0,4:1, отношение A_2/A_0 равно 0,25:1; отношение площади поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, выпускного трубопровода к горизонтальной площади поперечного сечения зоны в виде прямой трубы равно 0,167:1; расстояние от нижнего края направляющего входного отверстия до дна зоны, имеющей вид трубы, равно H_1, расстояние от нижнего края направляющего выходного отверстия до дна зоны в виде прямой трубы равно H_2, отношение H_1/H_2 равно 1:0,4; отношение полной площади поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, направляющего входного отверстия к горизонтальной площади поперечного сечения зоны седиментации равно 0,09:1.

Температура контактирования серосодержащего углеводородного сырья и газообразного водорода с катализатором адсорбционной десульфуризации равна 410°,

манометрическое давление составляет 30 атм, а среднечасовая скорость подачи серосодержащего углеводородного сырья равна 4 $ч^{-1}$.

Линейная скорость смеси углеводород-катализатор в направляющем входном отверстии воздушного классификатора частиц составляет 5 м/с, а линейная скорость в направляющем выходном отверстии воздушного классификатора частиц составляет 8 м/с.

Реакцию непрерывно осуществляют в течение 500 ч. В процессе реакции контролируют состав образующихся углеводородных продуктов, средний размер частиц катализатора в сборнике мелкого порошка катализатора и средний размер частиц катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем. Результаты приведены в таблице 7. Через 500 ч проведения реакции содержание катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем, имеющего размер частиц меньше чем 30 мкм, составляет 10,8% мас. Общее количество катализатора, загруженного в реактор с псевдоожиженным слоем до начала реакции, составляет 14,2 кг, в общей сложности 1,44 кг катализатора добавлено в псевдоожиженный слой в процессе реакции; и 1,95 кг мелкого порошка катализатора собрано в сборнике мелкого порошка катализатора через 500 ч.

Таблица 7

Время/ч		100	200	300	400	500
Содержание серы в продукте/мас.ч./млн		4,2	3,8	3,7	3,5	4,1
Величина снижения антидетонационного индекса		0,65	0,57	0,63	0,53	0,48
Средний размер частиц катализатора/ мкм	Сборник мелкого порошка	14,2	16,7	17,2	17,8	18,5
	Плотный слой катализатора	72,5	68,9	67,8	66,9	66,3

Пример 4

Адсорбционную десульфуризацию проводят так же, как в примере 3, за исключением того, что отношение A_1/A_0 равно 0,25:1, отношение A_2/A_0 равно 0,167:1; линейная скорость смеси углеводород-катализатор в направляющем входном отверстии воздушного классификатора частиц составляет 5 м/с, а линейная скорость в направляющем выходном отверстии воздушного классификатора частиц составляет 10 м/с.

Реакцию непрерывно осуществляют в течение 500 ч. В процессе реакции контролируют состав образующихся углеводородных продуктов, средний размер частиц катализатора в сборнике мелкого порошка катализатора и средний размер частиц катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем. Результаты приведены в таблице 8. Через 500 ч проведения реакции содержание катализатора в плотном слое катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем, имеющего размер частиц меньше чем 30 мкм, составляет 11,3% мас. Общее количество катализатора, загруженного в реактор с псевдоожиженным слоем до начала реакции, составляет 14,2 кг, в общей сложности 1,46 кг катализатора добавлено в псевдоожиженный слой в процессе реакции; и 1,99 кг мелкого порошка катализатора собрано в сборнике мелкого порошка катализатора через 500 ч.

Таблица 8

Время/ч		100	200	300	400	500
Содержание серы в продукте/ мас.ч./млн		3,5	3,9	4,5	4,2	3,7
Величина снижения антидетонационного индекса		0,58	0,61	0,56	0,45	0,60
Средний размер частиц катализатора/ мкм	Сборник мелкого порошка	13,5	14,7	16,3	17,9	18,8

	Плотный слой катализатора	71,3	70,8	68,7	68,0	67,8

(57) Формула изобретения

1. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации, которое включает реактор с псевдоожиженным слоем, регенератор катализатора, восстановитель катализатора, улавливатель мелкого порошка катализатора и классификатор мелкого порошка, где:

реактор с псевдоожиженным слоем включает герметично закрытый сверху корпус реактора, по меньшей мере один воздушный классификатор частиц и по меньшей мере один питающий трубопровод,

где внутреннее пространство корпуса реактора включает зону седиментации и реакционную зону, причем зона седиментации расположена над реакционной зоной, и где указанный по меньшей мере один питающий трубопровод располагается в нижней части реакционной зоны;

где указанный по меньшей мере один воздушный классификатор частиц включает герметично закрытый сверху основной блок классификатора, выпускное отверстие, выпускной трубопровод и по меньшей мере одно направляющее входное отверстие,

где внутреннее пространство основного блока классификатора, включает зону в виде прямой трубы и коническую зону, причем зона в виде прямой трубы расположена над конической зоной и при этом коническое основание конической зоны соединено с зоной в виде прямой трубы, а выпускное отверстие расположено в нижней части конической зоны,

где указанное по меньшей мере одно направляющее входное отверстие расположено в верхней части зоны в виде прямой трубы в тангенциальном направлении зоны в виде прямой трубы и соединено с внутренним пространством основного блока классификатора,

где выпускной трубопровод герметично встроен в верхнюю часть основного блока классификатора и продолжается вниз до нижней части зоны в виде прямой трубы, при этом указанный выпускной трубопровод имеет герметично закрытый нижний конец,

где нижняя часть выпускного трубопровода выполнена с по меньшей мере одним направляющим выходным отверстием, которое связывает выпускной трубопровод с внутренним пространством основного блока классификатора, при этом направляющее выходное отверстие располагается в тангенциальном направлении выпускного трубопровода, и

где основной блок воздушного классификатора частиц размещен в зоне седиментации, по меньшей мере одно направляющее входное отверстие связано с зоной седиментации, выпускной трубопровод герметично проходит через реактор с псевдоожиженным слоем, а выпускное отверстие выступает вниз в сторону реакционной зоны;

где улавливатель мелкого порошка катализатора размещен вне корпуса реактора, при этом улавливатель мелкого порошка катализатора содержит входное отверстие, которое соединено с выпускным трубопроводом указанного по меньшей мере одного воздушного классификатора частиц, и улавливатель мелкого порошка катализатора включает разгрузочный трубопровод, который соединен с загрузочным отверстием классификатора мелкого порошка; и

где классификатор мелкого порошка включает разгрузочный трубопровод для приема частиц катализатора большего размера, фракционированных классификатором мелкого порошка, причем данный разгрузочный трубопровод герметично проходит через боковую стенку корпуса реактора и входит в реакционную зону.

2. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в реакторе с псевдоожиженным слоем отношение полной площади поперечного сечения перпендикулярно направлению потока воздуха, по меньшей мере одного направляющего входного отверстия воздушного классификатора частиц к горизонтальному поперечному сечению зоны седиментации составляет 0,01-0,4:1.

3. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 2, в котором указанное отношение составляет 0,05-0,3:1.

4. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц отношение длины части выпускного трубопровода, входящей в основной блок классификатора, к длине зоны в виде прямой трубы составляет 0,6-1, 0,7-1, 0,8-1, 0,9-1 или 0,95-1.

5. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц коническая зона имеет форму перевернутого усеченного конуса.

6. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц отношение высоты зоны в виде прямой трубы к высоте конической зоны составляет 0,4-1,5:1, 0,5-1:1 или 0,6-0,8:1.

7. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц количество направляющих входных отверстий и количество направляющих выходных отверстий является одинаковым.

8. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц расстояние от нижнего края по меньшей мере одного направляющего входного отверстия до дна зоны в виде прямой трубы равно H1, расстояние от нижнего края по меньшей мере одного направляющего выходного отверстия до дна зоны в виде прямой трубы равно H2 и отношение H1/H2 составляет 1:0,1-0,8 или составляет 1:0,2-0,6.

9. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц верхний край по меньшей мере одного направляющего входного отверстия находится на одной линии с верхом зоны в виде прямой трубы.

10. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц нижний край по меньшей мере одного направляющего выходного отверстия находится на одной линии с нижней частью выпускного трубопровода.

11. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц разность между площадью горизонтального поперечного сечения зоны в виде прямой трубы и площадью горизонтального поперечного сечения выпускного трубопровода составляет AO, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, по меньшей мере одного направляющего входного отверстия равна A1, полная площадь поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, по меньшей мере одного направляющего выходного отверстия равна A2, и отношение A1/A0 находится в интервале 0,01-0,8:1 или в интервале 0,02-0,6:1, а отношение A2/A0 находится в интервале 0,01-0,5:1 или в интервале 0,015-0,4:1.

12. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц отношение площади

поперечного сечения, перпендикулярно направлению потока воздуха, выпускного трубопровода к горизонтальной площади поперечного сечения зоны в виде прямой трубы составляет 0,01-0,7:1 или составляет 0,04-0,6:1.

13. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где количество направляющих входных отверстий в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц составляет больше одного и указанные направляющие входные отверстия в количестве более одного распределены вдоль окружности зоны в виде прямой трубы.

14. Реакторное устройство для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где количество направляющих выходных отверстий в по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц составляет больше одного и указанные направляющие входные отверстия в количестве более одного распределены вдоль окружности выпускного трубопровода.

15. Способ адсорбционной десульфуризации, который осуществляют в реакторном устройстве для проведения адсорбционной десульфуризации по п. 1, где способ включает:

контактирование серосодержащего углеводородного сырья и катализатора адсорбционной десульфуризации в реакционной зоне реактора с псевдоожиженным слоем с образованием смеси углеводород-катализатор, причем по меньшей мере часть элементарной серы из углеводородного сырья адсорбируется катализатором адсорбционной десульфуризации; и

разделение полученной смеси углеводород-катализатор последовательно в зоне седиментации, по меньшей мере одном воздушном классификаторе частиц, улавливателе мелкого порошка катализатора и классификаторе мелкого порошка катализатора с получением углеводородных продуктов и отработанного катализатора.

16. Способ адсорбционной десульфуризации по п. 15, где атмосфера в реакционной зоне реактора содержит газообразный водород.

17. Способ адсорбционной десульфуризации по п. 16, где молярное отношение газообразного водорода к серосодержащему углеводородному сырью составляет 0,1-2:1, или составляет 0,15-1,5:1, или составляет 0,2-1:1.

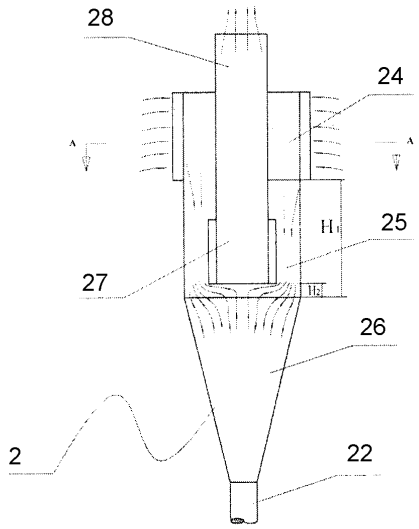
18. Способ адсорбционной десульфуризации по п. 15, где условия контактирования включают следующие: температура равна 300-500°C; манометрическое давление в реакторе с псевдоожиженным слоем равно 5-50 атм; среднечасовая массовая скорость подачи серосодержащего углеводородного сырья равна 1-15 $ч^{-1}$; и плотность плотного слоя катализатора в реакторе с псевдоожиженным слоем составляет 100-700 $кг/м^3$.

19. Способ адсорбционной десульфуризации по п. 15, где отношение линейной скорости подачи смеси углеводород-катализатор, поступающей из зоны седиментации, у направляющего входного отверстия по меньшей мере одного воздушного классификатора частиц к линейной скорости подачи смеси углеводород-катализатор в основанном блоке классификатора у направляющего выходного отверстия составляет 1:1,2-1,5 или 1:1,5-2.

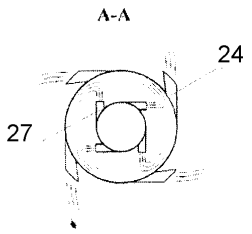
20. Способ адсорбционной десульфуризации по п. 15, где линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор, поступающей из зоны седиментации, у направляющего входного отверстия по меньшей мере одного воздушного классификатора частиц составляет 0,8-10 м/с, или составляет 1-8 м/с, или составляет 1,5-5 м/с; и линейная скорость подачи смеси углеводород-катализатор в основном блоке по меньшей мере одного воздушного классификатора частиц у направляющего выходного отверстия составляет 1,5-16 м/с, или составляет 2-12 м/с, или составляет 2,5-10 м/с.

1

1/4

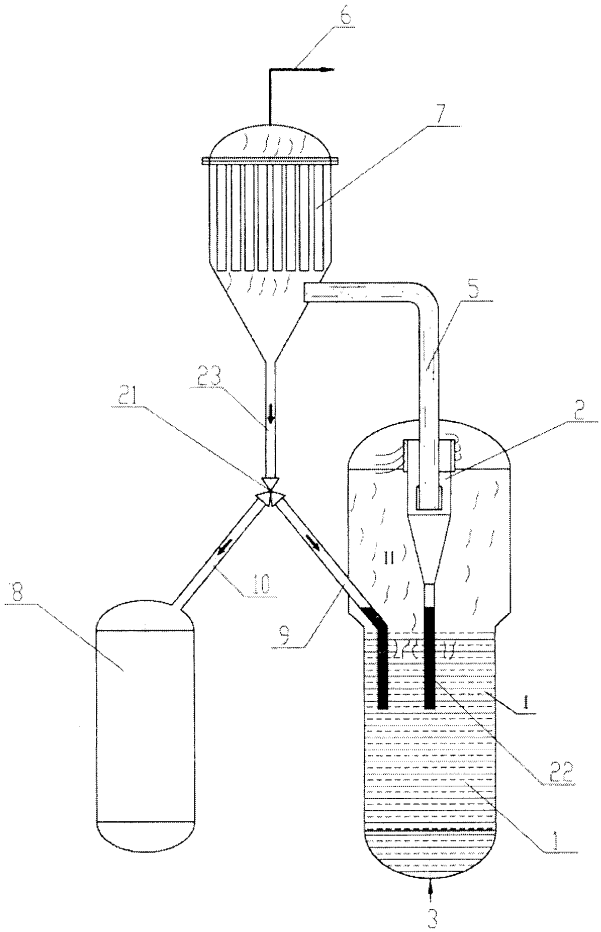


ФИГ. 1



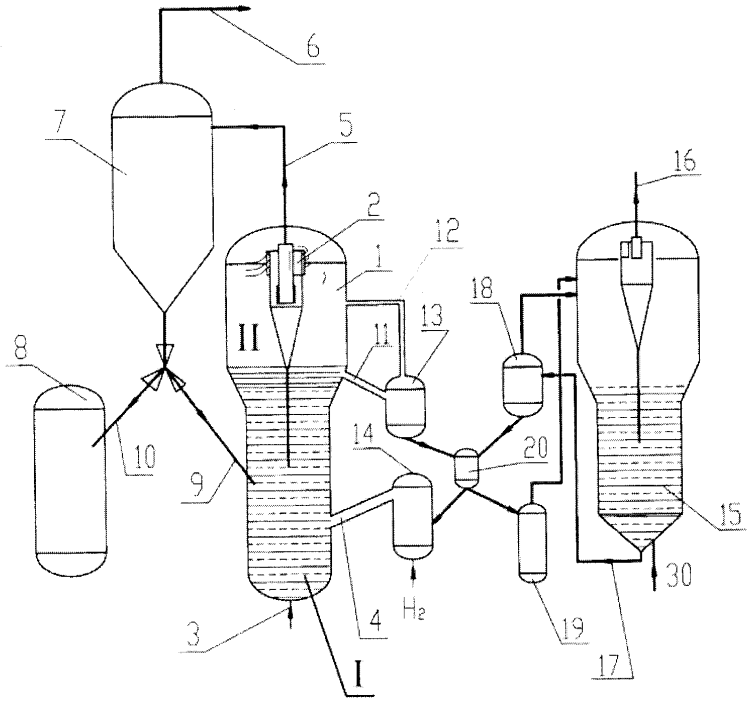
ФИГ. 2

2



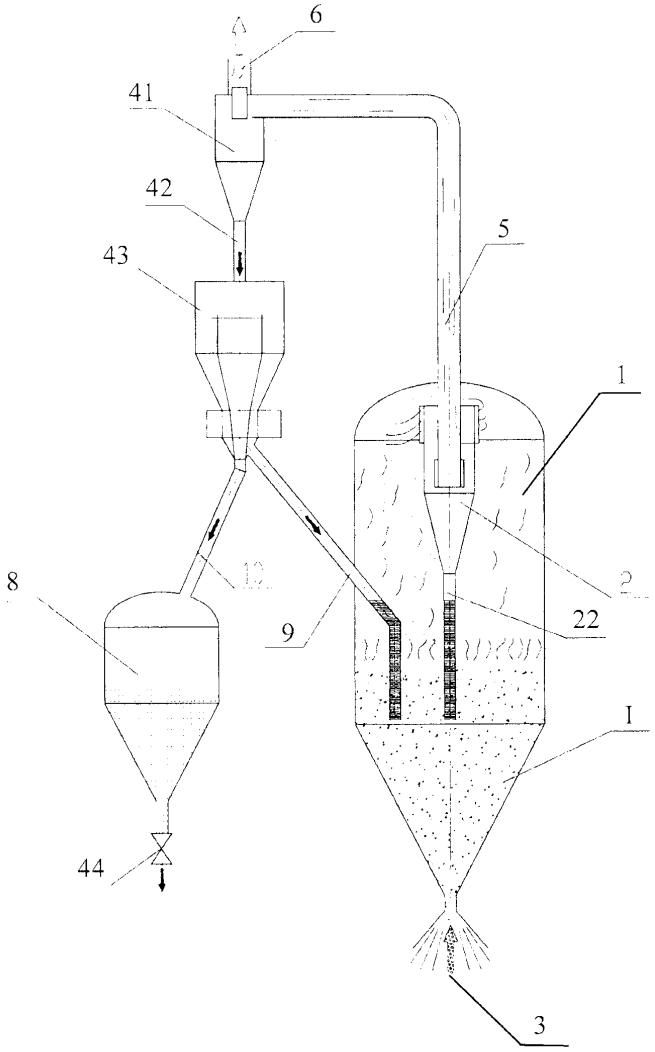
ФИГ. 3

3



ФИГ. 4

4



ФИГ. 5