

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **043632**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.06.07

(21) Номер заявки
202100232

(22) Дата подачи заявки
2020.02.10

(51) Int. Cl. **B01J 8/24** (2006.01)
C07C 5/333 (2006.01)
C07C 11/02 (2006.01)

(54) **РЕАКЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ
АЛКАНОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КАТАЛИЗАТОРА**

(31) **201910201890.5; 201910201900.5;
201910201901.X; 201910265854.5**
(32) **2019.03.18; 2019.03.18; 2019.03.18;
2019.04.03**

(33) **CN**

(43) **2021.12.08**

(86) **PCT/CN2020/074584**

(87) **WO 2020/186937 2020.09.24**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ШАНХАЙ СУПЕЗЕТ
ИНЖИНИРИНГ ТЕКНОЛОДЖИ
КО., ЛТД.; ДЗЯНСУ БОСОНГ
КЕМИКАЛ ТЕКНОЛОДЖИ КО.,
ЛТД.; ХАНЬИ ШЕНФЕЙ НЬЮ
МАТЕРИАЛС КО., ЛТД.; ЧАЙНА
ЮНИВЕРСИТИ ОФ ПЕТРОЛЕУМ
(ИСТ ЧАЙНА) (CN)**

(72) Изобретатель:
**Ли Чуньи, Чжан Линьюн, Чжан
Сяою, Чжан Ин, Мао Кайтан, Ли Хой,
Пан Чуньгйан (CN)**

(74) Представитель:
Наумов В.Е. (RU)

(56) **CN-A-104549073
CN-U-202497866
CN-U-207478534
CN-A-107108404
US-A-3839197
EP-A1-3409348**

(57) Раскрывается циркуляционное устройство дегидрирования алканов, включая реакционное устройство и устройство для регенерации. Реакционное устройство включает реактор и реакционный отвеиватель (3), реакционный отвеиватель (3) сообщается с реактором, а реактор предусматривается с распределителем катализатора (2), через который катализатор распыляется в реактор в направлении от периферийной стенки реактора до его центральной оси; устройство для регенерации включает рекуператор, в котором содержится катализатор, и рекуперативный отвеиватель (5), расположенный над рекуператором.

B1

043632

043632

B1

Область техники изобретения

Изобретение относится к циркуляционной системе для реакций каталитического дегидрирования алканов, а конкретно - к реакционному устройству для каталитического дегидрирования алканов и устройству для регенерации катализатора, а также к области нефтехимии.

Уровень техники изобретения

Пропилен и бутен являются важным сырьем для химической промышленности; пропан и бутан подвергаются дегидрированию для получения пропилена и бутена, которые не только обладают высокой селективностью олефинов, но могут вырабатывать водородный побочный продукт.

Для дегидрирования пропана и бутана предусмотрены проверенные технологии, такие как Oleflex от UOP или Catofin от ABB Lummus. В первой технологии используется катализатор Pt, нанесенный на подложку и система восстановления реакции движущегося слоя, с помощью которой можно реализовать непрерывную реакцию и регенерацию катализатора. Во второй технологии применяется катализатор CrOx, нанесенный на подложку, и реактор с неподвижным слоем. Можно использовать один реактор для работы с промежутками, но для непрерывной работы полностью всего устройства потребуется пять реакторов.

Дегидрирование алканов можно охарактеризовать следующим образом: дегидрирование алканов представляет собой сильную эндотермическую реакцию, для которой требуется большое количество тепла для своевременного начала; скорость преобразования подвергается воздействию термодинамического равновесия и уменьшается по мере увеличения давления; из-за нагарообразования и дезактивации требуется своевременная регенерация катализатора. Исходя из этих характеристик, можно определить, что циркулирующий взвешенный слой является идеальным реактором для дегидрирования алканов, потому что циркулирующий взвешенный слой может обеспечить непрерывное восстановление реакции, высокотемпературный регенерирующий агент может непосредственно подводить тепло для своевременной реакции, а перепад давления взвешенного слоя будет меньше при условии аналогичной линейной скорости. Однако для того, чтобы достичь реального технологического прорыва, в рамках технологии дегидрирования с циркулирующим взвешенным слоем требуется решить задачи из аспектов катализаторов, реакционных устройств и устройств для регенерации катализатора, чтобы в дальнейшем улучшить процесс реакции каталитического дегидрирования алканов.

Сущность изобретения

Первостепенная цель настоящего изобретения заключается в представлении реакционного устройства дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем. С одной стороны, реакция дегидрирования алканов выполняется в реакционном устройстве, что дает преимущества в отношении достаточного соприкосновения попутного газа с катализатором, чтобы, таким образом, способствовать реакции дегидрирования.

С другой стороны, реакционное устройство дегидрирования алканов с циркулирующим вывешенным слоем по настоящему изобретению увеличивает эффект сепарации газов/твердых частиц в пределах отвеивателя и снижает износ катализатора.

Второстепенной целью настоящего изобретения является представление устройства для регенерации катализатора, которое может исключить слишком высокую локальную температуру рекуператора и снизить производство нитридов.

Третьей целью настоящего изобретения является представление комбинированного реакционного устройства каталитического дегидрирования/крекинга, которое способствует улучшению скорости преобразования при дегидрировании этана и пропана.

Реакционное устройство дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем включает реактор и реакционный отвеиватель, реакционный отвеиватель сообщается с реактором, на котором образуется выпускное отверстие исходного продукта реакции; реактор предусматривается с распределителем катализатора, через который катализатор распыляется в реактор в направлении периферийной стенки реактора до его центральной оси; выпускное отверстие исходного продукта реакции размещается ниже распределителя катализатора.

В реакционном устройстве дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению реакционный отвеиватель располагается над реактором, выпускное отверстие реактора располагается внутри реакционного отвеивателя, а первичный циклонный сепаратор, вертикальная труба первичного циклона и крышка расположены в блоке реакционного отвеивателя. Крышка включает верхнюю и нижнюю части; верхняя часть крышки представляет собой усеченный конус, нижняя поверхность дна усеченного конуса - нижнюю часть крышки; нижняя часть крышки представляет собой цилиндрическую конструкцию; площадь проема в самой нижней части крышки превышает такую для выпускного отверстия реактора. Окружность верхней части основания усеченного конуса соединяется с крайней частью вертикальной трубы первичного циклона или же с конечной частью этого циклона над выпускным отверстием первичного циклонного сепаратора.

Реакционное устройство дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению включает реактор и отвеиватель, который сообщается с реактором, выпускное отверстие которого располагается внутри отвеивателя. Отвеиватель предусматривается с первым делителем

потока и вторым делителем потока; первый и второй делители потока расположены над выпускным отверстием реактора; первый делитель потока представляет собой составляющую, снижающую скорость потока газа, направленного вверх, который выходит через выпускное отверстие реактора. Второй делитель потока включает вторую крышку, площадь которой в поперечном сечении постепенно уменьшается снизу вверх; в самой верхней и самой нижней частях второй крышки предусматривается проем. Первый делитель потока расположен в пределах второго делителя потока.

Реакционное устройство для подготовки алканов путем их каталитического дегидрирования/крекинга по настоящему изобретению включает реактор для каталитического дегидрирования/крекинга алканов для получения олефинов и реакционный отвеиватель. Реакционный отвеиватель расположен в верхней части реактора; реактор включает реакционный блок дегидрирования и реакционный блок крекинга; реакционный блок дегидрирования расположен ниже реакционной секции крекинга, а конец наклонной трубы для регенерации катализатора подсоединяется к реакционному блоку дегидрирования.

В процессе комбинированной реакции каталитического дегидрирования/крекинга алканов используется вышеприведенное устройство для подготовки алканов путем их каталитического дегидрирования/крекинга. Водяной пар попадает в реакционный блок дегидрирования с одним или несколькими легкими алканами, которые соприкасаются с высокотемпературным регенерированным катализатором, подвергаемым действию реакции. Затем первый попутный газ 1, получаемый после реакции дегидрирования, и катализатор вместе попадают в реакционный блок крекинга, а второй попутный газ 2, полученный после реакции в реакционном блоке крекинга, и катализатор, попадают в реакционный отвеиватель для сепарации отработанного катализатора и второго попутного газа 2.

Устройство для регенерации катализатора по настоящему изобретению включает рекуператор, включающий катализатор и рекуперативный отвеиватель; трубная решетка рекуператора предусматривается с топливными форсунками в осевом направлении.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 показано реакционное устройство дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению;

на фиг. 2 представлена принципиальная схема конструкции по одному варианту осуществления распределителя катализатора по настоящему изобретению;

на фиг. 3 представлен вид в поперечном разрезе согласно другому варианту осуществления распределителя катализатора по настоящему изобретению;

на фиг. 4 представлена принципиальная схема конструкции реакционного отвеивателя реакционного устройства по настоящему изобретению;

на фиг. 5 представлена принципиальная схема конструкции крышки и первичного циклонного сепаратора в пределах отвеивателя по фиг. 4.

на фиг. 6 представлена одна принципиальная схема конструкции устройства для реакции/регенерации с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению;

на фиг. 7 представлена другая принципиальная схема конструкции устройства для реакции/регенерации с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению;

на фиг. 8 представлена принципиальная схема конструкции узла быстрой сепарации по настоящему изобретению;

на фиг. 9 представлен вид в поперечном разрезе узла быстрой сепарации по настоящему изобретению;

на фиг. 10 показан вид сверху отвеивателя по настоящему изобретению;

на фиг. 11 представлена принципиальная схема газового потока в отвеивателе по фиг. 7; и

на фиг. 12 показано устройство для регенерации для каталитического дегидрирования алканов по настоящему изобретению.

Подробное описание

Для лучшего понимания сущности настоящего изобретения технические решения по настоящему изобретению будут четко и полностью представлены ниже вместе с подробным описанием, вариантами осуществления и прилагаемыми чертежами; следующие варианты осуществления представлены для демонстрации настоящего изобретения, но не для ограничения его объема.

Экспериментальные методы без конкретных условий в следующих вариантах осуществления обычно соответствуют стандартным условиям или условиям, рекомендованным производителем. Если не указано иное, все процентные соотношения, коэффициенты, пропорции или детали основываются на массе.

Плотнотная секция: эта секция имеет больший диаметр слоя, меньшую скорость потока газа и повышенную плотность взвешивания катализатора, что содействует обеспечению соприкосновения и вступлению в реакцию газов/твердых частиц.

Секция разреженной фазы: эта секция имеет меньший диаметр слоя, повышенную скорость потока газа и меньшую плотность взвешивания катализатора. Задача: линейная скорость увеличивается, чтобы попутный газ быстро выходил из реактора, тем самым снижая вторичную реакцию олефинов; малая плотность реактора также является преимуществом в отношении снижения вторичных реакций, в осо-

бенности образования нагара; обеспечение соответствия требованиям по подаче катализатора.

Понятие "массово-временное отношение" относится к соотношению массы катализатора с массой подаваемого продукта в час.

Понятие "приведенная скорость газового потока" - это скорость, с которой флюид выходит из материала слоя после взвешивания этого слоя. Это важный рабочий параметр циркулирующего взвешенного потока.

Понятие "попутный газ" относится к сумме всех реагентов и продуктов в пределах реакционного устройства по настоящему изобретению.

Понятие "угол естественного откоса" относится к углу откоса и представляет собой минимальный угол между наклонной и горизонтальной поверхностями, когда предмет, помещенный на наклонную поверхность, пребывает в критическом состоянии соскальзывания вниз по этой наклонной поверхности (то есть, по мере увеличения угла наклона предмет на наклонной поверхности будет соскальзывать вниз быстрее; угол этого критического состояния именуется углом откоса, когда предмет достигает состояния начала соскальзывания).

"Периферийная стенка" реактора согласно настоящему изобретению представляет собой стенку реактора, параллельную его центральной оси.

Согласно настоящему изобретению "верхние оконечности" и "нижние оконечности" всех делителей потока, расположенные в пределах отвеивателя соотносятся с положением выпускного отверстия реактора, "верхняя оконечность" относится к оконечности, расположенной относительно далеко от выпускного отверстия реактора, а "нижняя оконечность" относится к оконечности, прилегающей к выпускному отверстию реактора.

Согласно настоящему изобретению исходные продукты крекинга обычно включают алканы, у которых количество атомов углерода превышает или равно 4, в предпочтительном варианте - n-бутан, пентан, гексан и т.д. Исходные продукты дегидрирования обычно включают пропан и этан.

Если не указано иное, все технические и научные понятия, используемые в настоящем изобретении, соответствуют общераспространенным на предыдущем уровне техники. Более того, любые способы и материалы, аналогичные или эквивалентны содержанию настоящего изобретения, могут быть применены в отношении способов согласно настоящему изобретению. Предпочтительные варианты осуществления и материалы, описываемые в настоящем изобретении, служат исключительно для примера.

Устройство циркулирующего взвешенного потока для каталитического дегидрирования алканов, включает реакционное устройство и устройство для регенерации; реакционное устройство, устройство для регенерации, устройство крекинга/дегидрирования алканов и реакционные процессы этих устройств подробно описаны ниже.

В первом аспекте реакционное устройство дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению включает реактор и реакционный отвеиватель, при этом реакционный отвеиватель расположен над реактором; выпускное отверстие исходного продукта реакции расположено на реакторе. Реактор предусматривается с распределителем катализатора, через который катализатор распыляется в реактор в направлении от периферийной стенки реактора к его центральной оси. Впускное отверстие исходного продукта реакции расположено ниже распределителя катализатора.

Распределитель катализатора по настоящему изобретению может иметь любую возможную конструкцию для реализации приведенного выше метода распыления катализатора.

В определенных вариантах осуществления распределитель катализатора представляет собой кольцевую трубу и отверстие, образуемое в кольцевой трубе, для обеспечения возможности распыления катализатора.

Как правило, кольцевая труба имеет структуру замкнутого кольца, образуемую трубой с круговым поперечным сечением.

В определенных вариантах осуществления в кольцевой трубе образуются два отверстия или более; отверстия в кольцевой трубе расположены на боковой стенке рядом с центральной осью кольцевой трубы на равном расстоянии.

В определенных вариантах осуществления сквозной проем расположен на боковой стенке рядом с центральной осью кольцевой трубы и вокруг центральной оси.

Кольцо сквозного проема располагается вдоль боковой стены, как можно ближе к центральной оси, кольцевой трубы; расстояние между верхним и нижним краями проема могут быть равными или нет. Например, в кольце отверстие расстояние между верхним и нижним краями одного сегмента проема относительно больше, в то время как расстояние между верхним и нижним краями другого сегмента относительно меньше. "Верхний" и "нижний" края в настоящем изобретении относятся к относительному положению отверстия, когда центральная ось кольцевой трубы расположена параллельно центральной оси реактора.

В определенных вариантах осуществления на основании плоскости боковой стенки кольцевой трубы, расположенной максимально близко к центральной оси, отверстие, обеспечивающее распыление катализатора, располагается на стенке кольцевой трубы с одной стороны плоскости и направлено в сторону центральной оси кольцевой трубы. Кольцевая труба устанавливается в реакторе; отверстие расположено

над верхней плоскостью, чтобы катализатор распылялся по наклонной линии вверх в направлении центральной оси реактора.

В определенных вариантах, когда в кольцевой трубе предусматривается несколько отверстий, они обычно имеют круглую форму.

В определенных вариантах осуществления как минимум две форсунки, через которые распыляется катализатор, располагаются на стороне кольцевой трубы возле центральной оси.

При этом несколько форсунок равномерно расположены на боковой стенке кольцевой трубы рядом с центральной осью, а отверстие для обеспечения распыления катализатора расположено перпендикулярно центральной оси кольцевой трубы или направлено под наклоном вверх. Таким образом, катализатор может распыляться перпендикулярно в направлении центральной оси через форсунки или распыляться в реактор наискосок вверх в направлении центральной линии.

Благодаря распределителю катализатора по настоящему изобретению высокотемпературный регенерированный катализатор распыляется со стороны реактора в центр через кольцевую трубу распределения катализатора, тем самым фактически исключая образование кольцевой структуры, средняя часть которой будет тонкой, а боковые стенки будут утолщены возле секции реактора, когда в реактор поступает катализатор. Другими словами, рядом с впускным отверстием катализатора в пределах реактора концентрация катализатора в середине реактора увеличивается, что является преимуществом для увеличения эффективности соприкосновения между попутным газом и катализатором возле впускного отверстия катализатора в пределах реактора, таким образом, улучшаются реакции каталитического дегидрирования.

Кроме того, благодаря распределителю катализатора по настоящему изобретению высокотемпературный катализатор, распыляемый в центр реактора, протекает вверх по центру реактора под действием подъемной среды, а затем проходит вниз вдоль стенки реактора. Что касается температуры реакции во всем реакторе, температурный градиент значительно увеличивается в осевом направлении, то есть изменение температуры в реакторе будет меньше. Побочные реакции при реакции дегидрирования алканов, вызванные высокой локальной температурой, снижаются, и помимо этого улучшается реакция каталитического дегидрирования алканов, т.е. улучшаются скорость преобразования и селективность дегидрирования алканов.

Реактор по настоящему изобретению включает плотнофазную секцию и секцию разреженной фазы, при этом секция разреженной фазы располагается на плотнофазной секцией.

В определенных вариантах осуществления распределитель катализатора располагается между $1/6$ и $5/6$, предпочтительно между $1/2$ и $2/3$, высоты плотнофазной секции реактора на основании нижней части реакции.

Как правило, концентрация для взвешивания катализатора ниже впускного отверстия катализатора будет выше, и она будет понижаться при восходящем процессе. Согласно настоящему изобретению распределитель катализатора располагается в реакторе на расстоянии от $1/6$ до $5/6$ высоты плотнофазной секции от нижней части реактора, а в процессе, в котором катализатор ниже распределителя катализатора повышается в осевом направлении, высокотемпературный катализатор вводится постоянно, чтобы плотность взвешивания не падала из-за введения катализатора в процессе его повышения. Таким образом, в плотнофазной секции катализатор в полной мере соприкасается с попутным газом, тем самым улучшая каталитическое дегидрирование алканов. В противном случае, если время соприкосновения увеличивается, чтобы обеспечить возможность одновременного потока катализатора и попутного газа в направлении вверх, распределитель катализатора располагается в нижней части реактора, в процессе повышения катализатора концентрация для взвешивания постепенно уменьшается и попутный газ в верхней части плотнофазной секции может соприкоснуться с катализатором в незначительной степени.

Согласно настоящему изобретению плотнофазная секция реакции представляет собой бак равного диаметра. Секция разреженной фазы предпочтительно представляет собой трубу равного диаметра или может представлять собой трубу неравного диаметра.

Реакционное устройство по настоящему изобретению включает не только составляющие, определенные по настоящему изобретению; другие составляющие и конструкции реакционного устройства могут включать элементы, раскрытые на предыдущем уровне техники.

Реакционное устройство дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем комбинируется с устройством для регенерации; реакционное устройство и устройство для регенерации сообщаются между собой через наклонную трубу для регенерации катализатора и наклонную трубу для будущей регенерации катализатора. Реакционное устройство включает реактор и реакционный отвеиватель; реакционный отвеиватель расположен над реактором; реактор включает плотнофазную секцию и секцию разреженной фазы; секция разреженной фазы входит в реакционный отвеиватель.

Устройство для регенерации включает рекуператор и блок рекуперативного отвеивателя. Блок рекуперативного отвеивателя располагается над рекуператором. Рекуператор включает рекуперативную плотнофазную секцию и рекуперативную секцию разреженной фазы; рекуперативная секция разреженной фазы входит в блок рекуперативного отвеивателя.

Высота катализатора в пределах кольцевого зазора между нагнетательной трубой в секции разре-

женной фазы и стенкой реакционного отвеивателя может контролироваться путем увеличения высоты нагнетательной трубы в секции разреженной фазы реактора. Высота может использоваться для регулировки движущей силы циркуляции катализатора с одной стороны и для регулировки эффекта дегазации и отпарки катализатора с другой.

Чем больше пропорция высоты рекуперативной секции разреженной фазы в отношении высоты рекуперативного отвеивателя, тем больше движущая сила регенерации в пределах блока рекуперативного отвеивателя и тем лучше эффект дегазации и отпарки. Таким образом, количества азота для отпарки газа, который вводится дополнительно, может быть снижено, когда регенерированный катализатор попадает в реактор; чем лучше эффект дегазации и отпарки газа, тем ниже потребность в отпарке газа, то есть обеспечивается экономия средств и более эффективная реакция дегидрирования.

Во втором аспекте реакционное устройство дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению включает реактор и реакционный отвеиватель, при этом реакционный отвеиватель расположен над реактором. Выпускное отверстие реактора расположено внутри отвеивателя. Первичный циклонный сепаратор, вертикальная труба первичного циклона и крышка расположены в пределах блока отвеивателя. Крышка включает верхнюю и нижнюю части; верхняя часть крышки представляет собой усеченный конус, а нижняя часть крышки расположена ниже нижней поверхности дна усеченного конуса. Площадь проема в самой нижней части крышки превышает таковую для выпускного отверстия реактора. Внешняя окружность верхнего основания усеченного конуса соединяется с внешней окружностью вертикальной трубы первичного циклона. Внешняя окружность верхнего основания усеченного кругового конуса соединяется с внешней окружностью первичного циклона над впускным отверстием первичного циклонного сепаратора. Весь первичный циклонный сепаратор или его часть располагается внутри крышки.

Предпочтительно, чтобы нижняя часть крышки представляла собой цилиндрическую конструкцию.

Поперечное сечение цилиндрической конструкции нижней части крышки может быть одинаковым или разным перпендикулярно относительно осевого направления. То есть, нижняя часть крышки может представлять собой цилиндр с постепенно уменьшающимся диаметром сверху вниз или цилиндр с постепенно увеличивающимся диаметром сверху вниз. Предпочтительно, чтобы нижняя часть крышки представляла собой цилиндрическую конструкцию.

Конструкция первичного циклонного сепаратора представлена любой конструкцией, раскрытой на предыдущем уровне техники, и, как правило, включает корпус первичного циклонного сепаратора и транспортирующую часть, расположенную под этим корпусом.

Согласно одному варианту осуществления выпускное отверстие транспортирующей части первичного циклонного сепаратора находится ниже выпускного отверстия реактора.

Согласно одному варианту осуществления угол θ между образующей линией усеченного конуса и нижней поверхностью дна части крышки в форме усеченного конуса превышает угол естественного откоса частиц катализатора. Таким образом, обеспечивается свободное ссыпание частиц катализатора, падающих на коническую поверхность.

Согласно определенным вариантам осуществления площадь проема крышки в самой нижней части больше или равна таковой для выпускного отверстия нагнетательной трубы разреженной фазы. Предпочтительно, чтобы площадь проема крышки в самой нижней части превышала площадь выпускного отверстия реактора в 1,5-5 раз, а более предпочтительно - в 2-3 раза.

В пределах блока отвеивателя по настоящему изобретению снаружи крышки дополнительно установлен циклонный сепаратор. Могут предусматриваться два циклонных сепаратора или более. Также могут быть установлены два циклонных сепаратора первой ступени или более или два циклонных сепаратора второй ступени или более. Циклонные сепараторы, расположенные за пределами крышки, сообщаются с газосборной камерой в пределах отвеивателя через вертикальную трубу.

Согласно определенным вариантам осуществления вертикальная труба первичного циклона не соединяется с впускным отверстием циклонного сепаратора первой ступени. Выпускное отверстие вертикальной трубы первичного циклона находится выше впускного отверстия циклонного сепаратора первой ступени или на одном уровне с ним.

Согласно определенным вариантам осуществления выпускное отверстие вертикальной трубы первичного циклона соединяется с впускным отверстием циклонного сепаратора первой ступени посредством раструбного соединения; между стенками на впускном отверстии вертикальной трубы первичного циклона и впускным отверстием циклонного сепаратора первой ступени образуется зазор, позволяющий попутному газу поступать в циклонные сепараторы.

Согласно настоящему изобретению верхняя оконечность крышки в блоке отвеивателя располагается относительно далеко от выпускного отверстия реактора. В определенных вариантах осуществления верхняя оконечность крышки находится приблизительно на расстоянии, равном высоте одного циклонного сепаратора, от выпускного отверстия реактора. В дополнение к этому ниже усеченного конуса также находится цилиндрическая часть. Часть попутного газа, выходящая через выпускное отверстие реактора, поступает в отвеиватель через крайнюю часть проема в нижней оконечности крышки; а другая часть попутного газа из выпускного отверстия реактора поступает в крышку и попадает непосредственно

в верхнюю часть отвеивателя через впускное отверстие первичного циклонного сепаратора. Таким образом, в отличие от случая, когда весь попутный газ попадает в отвеиватель и движется вверх, попутный газ по настоящему изобретению поступает в циклонный сепаратор из верхней и нижней частей отвеивателя с целью значительного снижения приведенной скорости газового потока, благодаря чему снижается объем катализатора, переносимого потоком газа, направленным вверх, а также снижается высота надслоевого пространства (ВНП).

В определенном варианте осуществления самая нижняя оконечность крышки в пределах блока отвеивателя находится ниже выпускного отверстия реактора. То есть плоскость, в которой расположена самая нижняя оконечность крышки, находится ниже плоскости, в которой расположено выпускное отверстие реактора. Удобно, что попутный газ, выходящий из выпускного отверстия реактора, попадает либо в крышку, либо в отвеиватель за пределами крышки.

Согласно определенным вариантам осуществления блок отвеивателя рекуператора включает в себя плотнофазную секцию и секцию разреженной фазы, и самая нижняя оконечность крышки находится выше поверхности сопряжения между секцией разреженной фазы и плотнофазной секцией, то есть, самая нижняя оконечность крышки расположена в пределах секции разреженной фазы отвеивателя. Предпочтительно, чтобы самая нижняя оконечность крышки находилась на 0,5 м выше поверхности сопряжения между секцией разреженной фазы и плотнофазной секцией, а более предпочтительно - выше на 1 м или более.

Согласно определенным вариантам осуществления впускное отверстие первичного циклонного сепаратора не соединяется с выпускным отверстием реактора.

Согласно определенным вариантам осуществления выпускное отверстие вертикальной трубы первичного циклонного сепаратора и впускные отверстия циклонных сепараторов первой ступени находятся в одной горизонтальной плоскости, или же выпускное отверстие вертикальной трубы первичного циклонного сепаратора находится выше впускных отверстий циклонного сепаратора первой ступени.

Реактор по настоящему изобретению может включать в себя секцию разреженной фазы и плотнофазную секцию; и секция разреженной фазы, и плотнофазная секция представляют собой цилиндрическую конструкцию одного диаметра, а диаметр секции разреженной фазы меньше диаметра плотнофазной секции. Реактор также может не разделяться на плотнофазную секцию и секцию разреженной фазы, и реактор будет представлять собой бак одинакового диаметра.

В определенных вариантах осуществления корпус первичного циклонного сепаратора располагается соосно с реактором. Центральная линия корпуса первичного циклонного сепаратора совпадает с центральной линией крышки.

Каталитическое дегидрирование алканов в олефины в основном относится к дегидрированию пропана в пропилен и дегидрированию бутана в бутен, а что касается циркулирующего взвешенного слоя, раскрывается проблема сепарации попутного газа, дымового газа и катализатора.

Выход за один цикл дегидрирования алканов ограничивается термодинамическим равновесием, и скорость преобразования значительно снижается с увеличением давления. Снижение выхода за один цикл означает, что условия, при которых мощность переработки первичного сырья остается без изменений, а способность циркуляции и общая мощность по сырью повышаются, в результате чего увеличиваются затраты и энергопотребление. Поэтому давление реакции дегидрирования алканов должно быть максимально низким. Так как, согласно расчетам, давление снижается до определенного уровня, единственным способом продолжить снижение перепада давления будет начальная сепарация попутного газа и катализатора.

При использовании только инерционной сепарации на впускном отверстии нагнетательной трубы разреженной секции реактора; перепад давления будет низким, но эффективность сепарации будет невысокой. Как правило, стандартные зонтикообразные барьеры располагаются на верхней части выпускного отверстия реактора; эффективность сепарации попутного газа и катализатора может достигать 75%; а когда барьер имеет Г-образную форму, эффективность сепарации попутного газа и катализатора может достигать 85%. Таким образом, концентрация катализатора в попутном газе, поступающем в циклонный сепаратор, не может быть слишком низкой. Высокая концентрация катализатора в попутном газе, поступающем в циклонный сепаратор, будет усиливать износ катализатора, тем самым увеличивая его потребление.

Более того, в условиях, когда эффективность сепарации остается без изменений, чем ниже содержание катализатора в газе, поступающем в циклонный сепаратор, тем ниже будет его потребление. Следовательно, эффективность начальной сепарации попутного газа и катализатора напрямую влияет на потребление катализатора.

Если применяются другие существующие технологии первичной сепарации с высокой эффективностью, с одной стороны, перепад давления будет большим, как минимум несколько килопаскалей, а с другой - износ катализатора будет сильным. В частности, дегидрирование алканов представляет собой сильную эндотермическую реакцию; тепло реакции и тепло от повышения температуры части исходных продуктов подается с помощью регенерирующего агента. Температура реакции дегидрирования обычно составляет приблизительно 600°C, а температура регенерации катализатора - 700°C. Существует неболь-

шой температурный перепад. Следовательно, соотношение катализатора/попутного газа реакции является высоким, также как и скорость циркуляции. Скорость циркуляции катализатора будет высокой, чтобы можно было снизить износ катализатора в максимально возможной степени для снижения его потребления. Помимо тесной связи с механической прочностью самого катализатора, износ тесно связан со скоростью газового потока; чем выше скорость газового потока, тем сильнее будет износ. С помощью метода быстрой сепарации с большим перепадом давления, например, первичного циклона, эффективность сепарации катализатора может достигать приблизительно 90%, однако весь катализатор подвергается воздействию первичного циклона, что обязательно ухудшит его износ.

В дополнение к техническим признакам, раскрываемым по настоящему изобретению, конструкции или составляющие, используемые в других реакционных устройствах каталитического дегидрирования и крекинга алканов, могут включать составляющие и конструкции, раскрытые на предыдущем уровне техники, для обеспечения хорошего протекания вышеприведенных реакций.

В третьем аспекте реакционное устройство дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению включает реактор и реакционный отвеиватель, при этом реакционный отвеиватель сообщается с реактором, выпускное отверстие которого располагается внутри блока отвеивателя. Первый и второй делители потока предусматриваются в пределах блока отвеивателя; первый и второй делителя потока располагаются над выпускным отверстием реактора. Первый делитель потока представляет собой составляющую, снижающую скорость потока газа, направленного вверх, который выходит через выпускное отверстие реактора. Второй делитель потока включает вторую крышку, в верхней и нижней оконечностях которой предусмотрен проем, а диаметр проема в нижней оконечности больше такового в верхней. Первый делитель потока расположен в пределах второго делителя потока.

Согласно настоящему изобретению как минимум два уровня делителей потока расположены в реакционном отвеивателе; большая часть попутного газа и катализатора, выходящих из выпускного отверстия реактора, непосредственно оседают в плотнофазном слое блока отвеивателя под действием первого делителя потока, расположенного ближе всего к этому выпускному отверстию реактора. Газ делится на две части; одна его часть переносит часть катализатора вверх по потоку вдоль зазора между первым и вторым делителями потока. Другая часть газа проходит наискосок вверх из наружной части второго делителя потока. Соотношение этих двух частей газа может гибко регулироваться за счет настройки степени расширения и расстояния между первым и вторым делителями потока, расстояния между этими делителями, а также размера верхнего выпускного отверстия второго делителя потока.

Согласно определенным вариантам осуществления первый делитель потока представлен первой крышкой, площадь поперечного сечения которой постепенно уменьшается снизу вверх, в самой нижней оконечности которой имеется проем, и она представляет собой сплошную поверхность от самой нижней до верхней оконечности крышки.

Предпочтительно, чтобы первый делитель потока представлял собой конструкцию в форме обратного конуса или сферической короны.

В определенных вариантах осуществления площадь поперечного сечения самой нижней оконечности (т.е. оконечности, которая находится ближе всего к выпускному отверстию реактора) первого делителя потока превышает таковую у выпускного отверстия реактора или равна ей. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения самой нижней оконечности первого делителя потока была больше таковой относительно выпускного отверстия реактора и не превышала ее более чем в 2 раза.

Согласно одному варианту осуществления самая нижняя оконечность делителя потока расположена ниже выпускного отверстия реактора. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого между выпускным отверстием реактора и первым делителем потока, была меньше таковой у выпускного отверстия реактора или равна ей.

Согласно другому варианту осуществления самая нижняя оконечность делителя потока расположена выше выпускного отверстия реактора. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием реактора и нижним краем первого делителя потока, была меньше таковой у выпускного отверстия реактора или равна ей.

В определенных вариантах осуществления первый делитель потока предпочтительно имеет конструкцию в виде обратного конуса, а угол θ между образующей линией поверхности дна конуса превышает угол естественного откоса частиц катализатора. Таким образом, обеспечивается свободное ссыпание частиц катализатора, падающих на коническую поверхность.

Согласно одному варианту осуществления первый делитель потока включает первую крышку в форме конической конструкции, площадь поперечного сечения которой постепенно увеличивается снизу вверх, две кривые, проходящие через вершину, находятся в пределах поперечного сечения в продольном направлении первой крышки, проходящего через вершину конуса, и кривизна каждой кривой сначала возрастает, а затем уменьшается по направлению от вершины до нижнего края конуса.

Согласно другому варианту осуществления первый делитель потока включает в себя первую крышку в форме конической конструкции, площадь поперечного сечения которой постепенно увеличивается снизу вверх, и коническая поверхность этой конструкции постепенно изгибается в сторону от центральной линии конуса по направлению от вершины этого конуса к его нижнему краю.

Кроме того, первый делитель потока дополнительно включает полость в форме конической конструкции, площадь поперечного сечения которой постепенно увеличивается сверху вниз. Оконечность полости возле выпускного отверстия реактора представляет собой поверхность дна; оконечность первой крышки на расстоянии от выпускного отверстия реактора представляет собой поверхность дна, и нижний край первой крышки в форме конической конструкции соединяется с нижним краем полости.

Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения самой нижней оконечности полости в конической конструкции первого делителя потока превышала таковую относительно выпускного отверстия реактора. Более предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения самой нижней оконечности полости в конической конструкции первого делителя потока была больше таковой относительно выпускного отверстия реактора и не превышала ее более чем в 2 раза.

После того, как попутный газ и катализатор, выходящие из выпускного отверстия реактора, обрабатываются первым делителем потока, как показано на фиг. 2С, предотвращается попадание большей части катализатора в плотнофазный слой отвеивателя. Газ делится на две части; одна его часть переносит катализатор вверх по потоку вдоль зазора между первым и вторым делителями потока через направляющую трубу делителя потока, а другая часть - наискосок вверх из наружной части второго делителя потока.

Согласно определенным вариантам осуществления второй делитель потока дополнительно включает трубу отвода потока равного диаметра. Конец трубы отвода потока соединяется с верхним проемом крышки. В предпочтительном варианте труба отвода потока представлена прямой трубой одинакового диаметра или направляющей трубой переменного диаметра.

Согласно определенным вариантам осуществления второй делитель потока представляет собой крышку в форме усеченного конуса, и одна оконечность усеченного конуса с наименьшим поперечным сечением (верхняя поверхность дна) соединяется с трубой отвода потока.

Второй делитель представляет собой крышку в форме усеченного конуса, и угол между образующей линией и нижней поверхностью дна превышает угол естественного откоса частиц катализатора.

Согласно определенным вариантам осуществления второй делитель потока представляет собой конструкцию в форме сферической короны, на которой образуется выпускное отверстие. Предпочтительно, чтобы выпускное отверстие находилось на самой верхней оконечности, т.е. на расстоянии от выпускного отверстия реактора, с конструкцией в форме сферической короны.

Площадь выпускного отверстия второго делителя потока рассчитана так, чтобы скорость потока газа в этом отверстии была ниже или равна скорости потока газа на выпускном отверстии нагнетательной трубы разреженной фазы. То есть, площадь поперечного сечения выпускного отверстия второго делителя потока превышает таковую относительно выпускного отверстия реактора.

Согласно определенным вариантам осуществления площадь поперечного сечения самой нижней оконечности второго делителя потока превышает таковую у первого делителя потока в 1,5 раза.

Согласно определенным вариантам осуществления минимальное расстояние между первым делителем потока и вторым делителем потока должно превышать диаметр поперечного сечения выпускного отверстия реактора.

Контролируя или изменяя расстояние между первым и вторым делителями потока, можно регулировать соотношение (соотношение отвода) технологической среды, входящей в отвеиватель, со средой, продолжающей двигаться вверх через зазор между первым и вторым делителями потока. Предпочтительно, чтобы соотношение отвода между двумя средами составляло 3/1-1/1.

Кроме того, самая нижняя оконечность второго делителя потока находится выше поверхности сопряжения разреженной и плотной фаз катализатора в блоке отвеивателя. Более предпочтительно, чтобы самая нижняя оконечность второго делителя потока находилась как минимум на 1 м выше поверхности сопряжения разреженной и плотной фаз катализатора в отвеивателе.

Согласно определенным вариантам осуществления в блоке отвеивателя установлен третий делитель потока, который располагается над вторым делителем. Третий делитель потока также представляет собой третью крышку, площадь поперечного сечения которой постепенно уменьшается снизу вверх. В самой нижней оконечности крышки имеется проем, и она представляет собой сплошную поверхность от самой нижней оконечности крышки до верхней ее части.

Предпочтительно, чтобы третий делитель потока представлял собой конструкцию в форме обратного конуса или сферической короны.

Под действием третьего делителя потока одна часть катализатора, захватываемая потоком газа, направленным вверх из выпускного отверстия второго делителя потока или выпускного отверстия трубы отвода потока, полностью оседает, а вторая - продолжает захватываться газовым потоком. Однако газ, отходящий в сторону, преимущественно движется горизонтально или по касательной вниз, в сторону выпускного отверстия циклонного сепаратора (как показано на фиг. 11); сила, действующая вверх, которая могла бы уравновесить массу катализатора, отсутствует, поэтому эта часть катализатора также естественным образом оседает. Таким образом, можно понять, что объединенная установка нескольких уровней делителей потока обеспечивает дополнительное снижение захвата катализатора и промотирование катализатора в отвеивателе за счет изменения распределения поля течения.

Согласно определенным вариантам осуществления площадь поперечного сечения самой нижней оконечности третьего делителя потока превышает или равна таковой относительно выпускного отверстия второго делителя потока. Площадь поперечного сечения самой нижней оконечности третьего делителя потока превышает или равна таковой относительно выпускного отверстия трубы отвода потока второго делителя потока.

Согласно определенным вариантам осуществления самая нижняя оконечность третьего делителя потока находится ниже положения выпускного отверстия трубы отвода потока второго делителя. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием трубы отвода потока и третьим делителем потока, была больше или равна площади поперечного сечения выпускного отверстия отводной трубы. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием трубы отвода потока и третьим делителем потока, была больше площади поперечного сечения выпускного отверстия реактора.

Согласно другому варианту осуществления самая нижняя оконечность третьего делителя потока находится выше положения выпускного отверстия трубы отвода потока второго делителя. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием трубы отвода потока и нижним краем третьего делителя потока, была больше или равна площади поперечного сечения выпускного отверстия отводной трубы. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием трубы отвода потока и нижним краем третьего делителя потока, была больше площади поперечного сечения выпускного отверстия реактора.

В определенных вариантах осуществления третий делитель потока предпочтительно имеет конструкцию в виде обратного конуса, а угол θ между образующей линией поверхности дна конуса превышает угол естественного откоса частиц катализатора. Таким образом, обеспечивается свободное ссыпание частиц катализатора, падающих на коническую поверхность.

Каждый делитель потока по настоящему изобретению (первый, второй и третий) устанавливается в реакционном отвейвателе посредством соединений, общепринятых в этой области техники.

В пределах реакционного отвейвателя по настоящему изобретению циклонные сепараторы также располагаются снаружи первого, второго и третьего делителей потока. Могут предусматриваться два или более циклонных сепараторов. Также могут быть предусмотрены два циклонных сепаратора первой ступени или более и два циклонных сепаратора второй ступени или более. Циклонный сепаратор, расположенный за пределами крышки, сообщается с газосборной камерой в пределах отвейвателя через вертикальную трубу.

Согласно определенным вариантам осуществления выпускное отверстие второго делителя потока или трубы отвода потока находится выше или на том же уровне, что и впускное отверстие циклонного сепаратора.

В определенных вариантах осуществления впускные отверстия двух или более циклонных сепараторов в блоке отвейвателя располагаются рядом со стенкой этого блока. Предпочтительно, чтобы впускные отверстия циклонного сепаратора располагались по окружности. Например, впускные отверстия циклонных сепараторов располагаются по часовой стрелке или против нее.

Располагая циклонные сепараторы по настоящему изобретению подобным образом, газ в пределах всего отвейвателя вращается в одном направлении, что способствует "сбрасыванию" катализатора, взвешенному в этом блоке, в направлении стенки блока отвейвателя под действием центробежной силы и его соскальзыванию вниз по стенке в плотнофазный слой. Кроме того, объем катализатора, попадающего в циклонный сепаратор, будет увеличиваться.

Попутный газ по настоящему изобретению поступает в циклонные сепараторы сверху и снизу отвейвателя с целью значительного снижения приведенной скорости газового потока, благодаря чему снижается объем катализатора, переносимого потоком попутного газа, направленным вверх, а также снижается высота надслоевого пространства (ВНП).

Каталитическое дегидрирование алканов в олефины в основном относится к дегидрированию пропана в пропилен и дегидрированию бутана в бутен, а что касается циркулирующего взвешенного слоя, раскрывается проблема сепарации попутного газа, дымового газа и катализатора.

Дегидрирование алканов в алкены представляет собой обратимую реакцию, ограниченную термодинамическим равновесием, и скорость равновесного преобразования увеличивается по мере снижения давления. Чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию устройства, давление реакции определяется на основании перепада давления в выпускном отверстии слоя реакционного катализатора и впускном отверстии компрессора обогащенного газа при условии обеспечения незначительного положительного давления в этом компрессоре. При определенном давлении на впуске компрессора обогащенного газа, чем ниже перепад давления на выпускном отверстии слоя реакционного катализатора и впускном отверстии обогащенного газа, тем ниже давление реакции, что является более подходящим условием для реакции дегидрирования. Следовательно, должна быть выполнена оптимизация конструкции для каждой линии, например, для быстрой сепарации попутного газа и катализатора на выпускном отверстии реактора, циклонных сепараторов, трубопроводов, теплообмена и охлаждения попутного газа, а также для промывки водой для снижения перепада давления на каждой линии всеми доступными средствами.

Кроме того, дегидрирование алканов представляет собой сильную эндотермическую реакцию; нагрев попутного газа и абсорбируемый объем тепла, необходимый для реакции, полностью обеспечиваются за счет высокотемпературного регенерирующего агента, чтобы объем циркуляции катализатора был большим. Большой объем циркуляции катализатора и повышенный износ приводят к увеличению потребления катализатора. Скорость потока газа является решающим фактором в отношении уровня износа. Исключение высокоскоростного движения большого объема катализатора в максимально возможной степени является необходимым параметром для снижения износа катализатора. В регенерационной системе реактора с циркулирующим взвешенным потоком скорость потока газа в циклонном сепараторе является самой высокой; линейная скорость на впуске практически составляет приблизительно 20 м/с.

Согласно нашим лабораторным наблюдениям, что касается большей части катализаторов, разработанных изобретателями, таких как катализатор для дегидрирования согласно ZL201110123675.1, феномен износа возникает, когда скорость потока газа превышает 10 м/с. Феномен сильного износа катализатора возникает, когда скорость потока газа достигает 14 м/с. Следовательно, в конструкции системы регенерации для реакции дегидрирования, помимо циклонного сепаратора, скорость потока газа, превышающая 10 м/с, не допускается, насколько это возможно, и предпочтительно регулируется до значения 7 м/с или ниже. Что касается циклонного сепаратора, концентрация катализатора, поступающего в циклонный сепаратор, снижается в максимально возможной степени. Быстрая сепарация попутного газа и катализатора является очень важной для снижения концентрации катализатора на впускном отверстии циклонного сепаратора. Отвеиватель, представленный по настоящему изобретению, эффективно снижает концентрацию катализатора на впускном отверстии циклонного сепаратора и обеспечивает хорошую сепарацию катализатора и попутного газа, будь то в реакции каталитического дегидрирования, реакции каталитического крекинга или при регенерации катализатора в реакции.

Согласно четвертому аспекту, устройство для регенерации катализатора дегидрирования алканов включает рекуператор, в котором содержится катализатор, и рекуперативный отвеиватель, расположенный над рекуператором. Рекуператор включает плотнофазную секцию и секцию разреженной фазы, а трубная решетка плотнофазной секции предусматривается с топливными форсунками в осевом направлении. Секция разреженной фазы рекуператора расположена над плотнофазной секцией.

Согласно одному варианту осуществления, трубная решетка плотнофазной секции рекуператора предусматривается с несколькими топливными форсунками в осевом направлении. Предпочтительно, 3-10 топливных форсунок, предпочтительно, 4-6 топливных форсунок расположены на трубной решетке плотнофазной секции рекуператора в осевом направлении.

При этом расстояние между топливными форсунками может или не может быть равноудаленным, предпочтительно, чтобы топливные форсунки были равноудаленными.

В определенных вариантах осуществления нижняя часть плотнофазной секции рекуператора предусматривается с впускным отверстием для топлива и воздуха.

В устройстве для регенерации по настоящему изобретению воздух поступает в рекуператор из нижней части рекуператора, а топливо впрыскивается из различных положений по высоте в осевом направлении плотнофазной секции рекуператора. В рекуператоре при движении вверх топлива и отработанного катализатора из нижней части рекуператора, чем полнее сгорание, тем выше температура. Топливо вводится из различных положений по высоте в осевом направлении, что эффективно устраняет проблему, связанную с высокой локальной температурой, вызванной впрыском топлива снизу. То есть, разница температур в плотнофазной секции рекуператора является небольшой. Если локальная температура внутри рекуператора является слишком высокой, с одной стороны, это приведет к разрушению катализатора, а с другой стороны, это приведет к образованию NOx. Кроме того, топливо впрыскивается из различных положений по высоте в осевом направлении и впрыскиваемое впоследствии топливо также оказывает уменьшающее воздействие на ранее образовавшиеся NOx. Таким образом, концентрация NOx в дымовом газе снижается как с точки зрения образования NOx, так и за счет впрыска топлива.

В определенных вариантах осуществления самая верхняя топливная форсунка расположена на расстоянии от 1/2 до 2/3 общей высоты плотнофазной секции рекуператора от нижней части рекуператора, на основании нижней части рекуператора. То есть, топливные форсунки расположены на стенке, между нижней частью рекуператора и 1/2-2/3 высоты плотнофазной секции рекуператора.

В определенных вариантах осуществления самая верхняя топливная форсунка находится на расстоянии 2-3 м от верхней части плотнофазной секции рекуператора.

Топливные форсунки, расположенные в трубной решетке рекуператора, должны исключать впускное отверстие отработанного катализатора, то есть топливные форсунки не находятся в той же горизонтальной плоскости, что и впускное отверстие отработанного катализатора.

Для обеспечения плавного воспламенения топлива в нижней части рекуператора, отработанный катализатор поступает в рекуператор как можно ближе к нижней части рекуператора. Кроме того, внешняя циркуляционная труба рекуператора может быть предусмотрена, чтобы направлять часть высокотемпературного регенерирующего агента, осевшего из блока отвеивателя рекуператора, обратно в нижнюю часть рекуператора во избежание срыва пламени в рекуператоре, в особенности при использовании газообразного топлива, например, природного газа, сухого газа и других видов топлива с высокой темпера-

турой самовозгорания.

В определенных вариантах осуществления решетка или сетка, изготовленная из черного металла, предпочтительно, сетка из нержавеющей стали, расположена в рекуперативном отводе. Нержавеющая сталь или черный металл, описанный в настоящем изобретении, может быть устойчивым к температуре рекуператора катализатора.

1-5 слоев решеток или сеток, предпочтительно 2-3 слоя решеток или сеток предусмотрены в рекуперативном отводе.

В рекуперативном отводе газы, выходящие из рекуператора, включают CH_x , CO и NO_x . В среде отвода, например, в условиях температур, при катализе черных металлов или нержавеющей стали восстанавливаются газы, такие как CH_x и CO , а NO_x генерирует азот. Таким образом, концентрация NO_x в дымовом газе еще больше снижается.

Согласно другому аспекту, предусмотрен метод регенерации катализатора дегидрирования алканов. Отработанный катализатор поступает в рекуператор, воздух и часть топлива поступает в рекуператор из нижней части рекуператора, другое топливо поступает в рекуператор из топливных форсунок, расположенных в трубной решетке рекуператора, а дымовой газ, образующийся после реакции горения, выходит через выпускное отверстие для дымовых газов в верхней части рекуперативного отвода.

Метод регенерации по настоящему изобретению реализуется в вышеприведенном устройстве для регенерации. 3-10 топливных форсунок, предпочтительно, 4-6 топливных форсунок расположены на трубной решетке плотнофазной секции рекуператора в осевом направлении.

В определенных вариантах осуществления количество топлива, впрыскиваемого через каждую топливную форсунку, является одинаковым.

В определенных вариантах осуществления количество топлива, впрыскиваемого через каждую топливную форсунку, постепенно уменьшается снизу вверх в осевом направлении.

Посредством метода регенерации по настоящему изобретению концентрация NO_x в дымовом газе может быть существенно снижена. Также уменьшается количество топлива, необходимое для обработки эквивалентного количества отработанного катализатора. То есть, снижается стоимость регенерации катализатора и сокращаются выбросы газообразных загрязнителей.

В определенных вариантах осуществления приведенная скорость газового потока в верхней части плотнофазного слоя рекуператора преимущественно находится в диапазоне от 0,01 до 1, предпочтительно, в диапазоне от 0,05 до 0,5 м/с.

Температура в рекуператоре по настоящему изобретению составляет от 600 до 850, предпочтительно, от 630 до 750°C. Температура в рекуперативном отводе также находится в этом диапазоне.

Топливо может быть газообразным или жидким и не содержать серу и металл.

Согласно настоящему изобретению плотнофазная секция рекуператора представляет собой бак равного диаметра, а секция разреженной фазы предпочтительно представляет собой трубу равного диаметра. Диаметр секции разреженной фазы меньше диаметра плотнофазной секции. Плотнофазная секция и секция разреженной фазы рекуператора также могут иметь неравный диаметр.

Устройство для регенерации по настоящему изобретению включает не только составляющие, определенные по настоящему изобретению; другие составляющие и конструкция устройства для регенерации могут включать элементы, раскрытые на предыдущем уровне техники.

Устройство для регенерации катализатора по настоящему изобретению может использоваться вместе с любым из описанных выше устройств для катализатора дегидрирования алканов.

Устройство для регенерации катализатора по настоящему изобретению имеет по меньшей мере следующие преимущества:

1) простым способом впрыска топлива в различных осевых положениях рекуператора эффективно устраняется проблема, связанная с повышенной локальной температурой в рекуператоре, и эффективно снижается образование NO_x ;

2) за счет дополнительного размещения сетки или решетки из нержавеющей стали в блоке отвода рекуператора NO_x восстанавливаются до азота за счет использования небольшого количества восстановительного газа в дымовом газе при катализе нержавеющей стали, благодаря чему решается проблема выбросов NO_x в дымовом газе.

Далее представлено подробное описание со ссылкой на конкретные чертежи и примеры:

Вариант осуществления 1.

Как представлено на фиг. 1 и 2, реакционное устройство для каталитического дегидрирования алканов по настоящему изобретению используется вместе с устройством для регенерации катализатора по настоящему изобретению. Два комплекта устройств можно использовать отдельно и, соответственно, вместе с другими реакционными устройствами или устройствами для регенерации катализатора предыдущего уровня техники.

С точки зрения устройства для реакции каталитического дегидрирования алканов/регенерации с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению, реакционное устройство и устройство для регенерации расположены параллельно.

Реакционное устройство для каталитического дегидрирования алканов включает реактор и реакци-

онный отвеиватель 3, как реактор, так и реакционный отвеиватель представляют собой баки. Реакционный отвеиватель 3 располагается над реактором. Реактор включает плотнофазную секцию 1 и секцию разреженной фазы 13. Реактор предусматривается с распределителем катализатора 2. И плотнофазная секция 1, и секция разреженной фазы 13 представляют собой конструкции одного диаметра, а секция разреженной фазы 13 входит в реакционный отвеиватель 3. Распределитель катализатора 2 располагается между 1/6 и 5/6, предпочтительно 1/2 и 2/3, высоты плотнофазной секции 1 реактора на основании нижней части реактора. Распределитель катализатора 2 располагается над впускным отверстием исходного продукта дегидрирования алканов.

Несколько слоев решеток 10 расположены в плотнофазной секции 1 реактора.

Что касается фиг. 2, распределитель катализатора 2 представляет собой кольцевую трубу, на боковой стенке кольцевой трубы рядом с центральной осью равномерно предусмотрены несколько отверстий по окружности. Или отверстие, обеспечивающее распыление катализатора, образуется на стенке кольцевой трубы с одной стороны плоскости на основании плоскости, где максимально близко к центральной оси расположена боковая стенка кольцевой трубы, а отверстие направлено к центральной оси кольцевой трубы, со ссылкой на реакционное устройство на фиг. 1, то есть, в этом случае, отверстие, обеспечивающее распыление катализатора, расположено над плоскостью, чтобы катализатор распылялся по наклонной линии вверх в направлении центральной оси реактора.

Что касается фиг. 3, распределитель катализатора 2 представляет собой кольцевую трубу, сквозной проем 16 образован на боковой стенке рядом с центральной осью кольцевой трубы и вокруг центральной оси. Расстояние между верхним и нижним краями проема является равным.

Устройство для регенерации включает рекуператор и рекуперативный отвеиватель 5, как рекуператор, так и блок отвеивателя рекуператора представляют собой баки. Рекуператор включает рекуперативную плотнофазную секцию 4 и рекуперативную секцию разреженной фазы 15, и рекуперативная плотнофазная секция 4, и рекуперативная секция разреженной фазы 15 представляют собой конструкцию одного диаметра, а рекуперативная секция разреженной фазы 15 входит в рекуперативный отвеиватель 5.

Один конец наклонной трубы для регенерации катализатора 12 подсоединяется к рекуперативному отвеивателю, другой конец наклонной трубы для регенерации катализатора 12 подсоединяется к плотнофазной секции 1 реактора. Один конец наклонной трубы для будущей регенерации катализатора 11 подсоединяется к реакционному отвеивателю 3, а другой конец наклонной трубы для будущей регенерации катализатора 11 подсоединяется к рекуперативной плотнофазной секции 4. В плотнофазной секции 1 реактора наклонная труба для регенерации катализатора 12 попадает в реактор через стенку реактора и подсоединяется к распределителю катализатора 2 или наклонная труба для регенерации катализатора 12 объединяется с распределителем катализатора 2. В рекуперативном отвеивателе 5 устройства для регенерации, из-за большей высоты секции разреженной фазы рекуператора, чем больше высота катализатора в пределах кольцевого зазора между секцией разреженной фазы и стенкой рекуперативного отвеивателя, тем больше движущая сила к регенерированному катализатору в рекуперативном отвеивателе, благодаря чему регенерированный катализатор попадает в распределитель катализатора 2 через наклонную трубу для регенерации катализатора. В результате большей движущей силы к регенерированному катализатору, количество подъемной среды, такой как азот, вводимой в реактор, уменьшается и, таким образом, эффект дегазации катализатора в рекуперативном отвеивателе также значительно улучшается.

Конкретный технологический процесс включает следующее: исходные продукты каталитического дегидрирования алканов 18 поступают в реактор из нижней части плотнофазной секции 1 реактора, попутный газ и катализатор поступают вверх одновременно внутри реактора, а исходные продукты подвергаются воздействию реакции в плотнофазной секции 1 реактора. Продукт реакции поступает в реакционный отвеиватель 3 через секцию разреженной фазы 13, быстрая сепарация газов/твердых частиц выполняется с помощью циклонного сепаратора, попутный газ 17 выходит из реакционного отвеивателя и поступает в последующую систему сепарации. Происходит отпарка отработанного катализатора, который оседает, отпаривающей средой 14, такой как водяной пар, а затем он поступает в плотнофазную секцию 4 рекуператора через наклонную трубу для будущей регенерации 11. В нижнюю часть плотнофазной секции 4 рекуператора нагнетается воздух и топливо 9 для сгорания с одновременным выжиганием нагара с поверхности отработанного катализатора. Регенерированный дымовой газ и катализатор поступают вверх одновременно в рекуператор и поступают в рекуперативный отвеиватель 5 через секцию разреженной фазы 15 для подвержения воздействию сепарации газов/твердых частиц, а дымовой газ 7 выходит из рекуперативного отвеивателя и выходит после рекуперации энергии, промывки и удаления пыли. Происходит отпарка регенерированного катализатора, который оседает, отпаривающей средой 14, такой как азот, он проходит через наклонную трубу для регенерации 12 и поступает в плотнофазную секцию 1 реактора со стороны реактора через распределитель катализатора 2.

Реакционный отвеиватель реакционного устройства в данном варианте осуществления может иметь любую из конструкций, раскрытых на предыдущем уровне техники, и может также иметь конструкцию, показанную на фиг. 4.

Вариант осуществления 2.

Что касается фиг. 4, реакционное устройство для каталитического дегидрирования алканов включа-

ет реактор и реакционный отвеиватель 3, при этом реактор включает плотнофазную секцию 1 и секцию разреженной фазы 13, а секция разреженной фазы 13 входит в реакционный отвеиватель 3.

Зонтикообразный циклонный узел быстрой сепарации расположен в реакционном отвеивателе 3, зонтикообразный циклонный узел быстрой сепарации включает первичный циклонный сепаратор 6 и крышку 19. Как представлено на фиг. 5, первичный циклонный сепаратор 6 включает, последовательно сверху вниз, цилиндрический корпус 61, обратный конус 64 и транспортирующую часть 65. Впускное отверстие 62 первичного циклонного сепаратора 6 расположено на верхней части цилиндрического корпуса 61, и через данное впускное отверстие 62 поток газа по касательной входит в первичный циклонный сепаратор 6. Вертикальная труба 63 расположена в верхней части первичного циклонного сепаратора 6 и сообщается с цилиндрическим корпусом 61 первичного циклонного сепаратора 6, а попутный газ или дымовой газ, поступающий в первичный циклонный сепаратор 6, выходит через вертикальную трубу 63. Крышка 19 включает в себя две части. Верхняя часть имеет форму усеченного конуса, а нижняя - цилиндра, и крышка может представлять собой единую конструкцию. Край верхней оконечности (то есть, верхняя поверхность дна усеченного кругового конуса) крышки 19 соединен с внешней окружностью вертикальной трубы 63, и в крышке располагается первичный циклонный сепаратор 6. Нижняя торцевая поверхность крышки 19 находится ниже выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 и нижняя торцевая поверхность крышки 19 расположена в пределах секции разреженной фазы отвеивателя.

Угол между образующей линией и нижней поверхностью дна верхней части крышки в форме усеченного конуса 19 превышает угол естественного откоса частиц катализатора. То есть, размер угла усеченного кругового конуса связан с применяемым углом естественного откоса частиц катализатора, чтобы можно было гарантировать нисходящий поток катализатора.

Площадь поперечного сечения проема в нижней оконечности крышки 19 превышает таковую для выпускного отверстия транспортировочной секции разреженной фазы 13.

В данном варианте осуществления центральные линии цилиндрического корпуса 61, обратного конуса 64, крышки 19 первичного циклонного сепаратора 6 и центральная линия реактора совпадают. Выпускное отверстие транспортирующей части 65 должно находиться на удалении от выпускного отверстия секции разреженной фазы 13, в противном случае, катализатор первичного циклонного сепаратора 6 не способствует выводу из транспортирующей части под действием потока газа в секции разреженной фазы 13, направленного вверх.

В данном варианте осуществления впускное отверстие 62 первичного циклонного сепаратора 6 не соединяется с выпускным отверстием секции разреженной фазы 13.

В пределах реакционного отвеивателя 3, пространство вне крышки 19 также оснащено циклонным сепаратором 8 и газосборной камерой 20. В данном варианте осуществления предусмотрены два комплекта циклонных сепараторов, каждый комплект циклонного сепаратора включает циклонный сепаратор первой ступени 81 и циклонный сепаратор второй ступени 82, который сообщается с газосборной камерой 20 через вертикальную трубу. Впускное отверстие циклонного сепаратора первой ступени 81 и впускное отверстие 62 первичного циклонного сепаратора 6 находятся в одной горизонтальной плоскости, либо же впускное отверстие циклонного сепаратора первой ступени 81 располагается немного ниже впускного отверстия 62 первичного циклонного сепаратора 6.

Что касается фиг. 6, описанное выше реакционное устройство соединяется с устройством для регенерации для реализации циркулирующей реакции дегидрирования алканов. Устройство для регенерации по настоящему изобретению включает рекуператор и блок рекуперативного отвеивателя 5, как рекуператор, так и блок рекуперативного отвеивателя представляют собой баки. Рекуператор включает рекуперативную плотнофазную секцию 4 и рекуперативную секцию разреженной фазы 15, и рекуперативная плотнофазная секция, и рекуперативная секция разреженной фазы представляют собой конструкцию одного диаметра, а рекуперативная секция разреженной фазы 15 входит в блок рекуперативного отвеивателя 5. Снаружи рекуператор имеет внешнюю циркуляционную трубу 21, один конец внешней циркуляционной трубы 21 соединен с блоком отвеивателя рекуператора 5, а другой конец внешней циркуляционной трубы 21 соединен с нижней частью рекуператора для циркуляции высокотемпературного катализатора в нижнюю часть рекуператора. Два слоя решеток 10 расположены в блоке отвеивателя рекуператора 5. Один конец наклонной трубы для регенерации 12 соединен с нижней частью блока отвеивателя рекуператора 5, а другой конец наклонной трубы для регенерации 12 сообщается с плотнофазной секцией 1 реактора для упрощения транспортировки регенерированного катализатора из устройства для регенерации в реактор. Один конец наклонной трубы для будущей регенерации 11 соединен с нижней частью реакционного отвеивателя 3, а другой конец наклонной трубы для будущей регенерации 11 соединен с рекуператором для упрощения транспортировки отработанного катализатора из реакционного устройства в реакционное устройство для регенерации.

Конкретный технологический процесс дегидрирования алканов с циркулирующим взвешенным слоем включает следующее: исходные продукты каталитического дегидрирования алканов 18 поступают в реактор из нижней части плотнофазной секции реактора, попутный газ соприкасается с катализатором в значительной степени для каталитического дегидрирования в плотнофазной секции 1 реактора. Попут-

ный газ и катализатор после каталитического дегидрирования поступают в реакционный отвеиватель 3 через транспортировочную трубу разреженной фазы 13. Часть попутного газа поступает в крышку 19, а другая часть попутного газа поступает в отвеиватель снаружи крышки для быстрой сепарации газов/твердых частиц с помощью первичного циклонного сепаратора 6 и циклонного сепаратора 8. Попутный газ 17 поступает в газосборную камеру 20 и выходит из реакционного устройства через выпускное отверстие отвеивателя, выходит из реактора и поступает в последующую систему сепарации. Происходит отпарка отработанного катализатора, который оседает, отпаривающей средой 14, такой как водяной пар, а затем он поступает в плотнофазную секцию 4 рекуператора через наклонную трубу для будущей регенерации 11. В нижнюю часть плотнофазной секции 4 рекуператора нагнетается воздух 24 и топливо 25, воздух 24 и топливо 25 поступают в плотнофазную секцию рекуператора через два впускных отверстия в нижней части рекуператора и на боковой стенке плотнофазной секции 4 с одновременным выжиганием нагара с поверхности отработанного катализатора. Регенерированный дымовой газ и катализатор поступают вверх одновременно и поступают в блок отвеивателя рекуператора 5 через секцию разреженной фазы для подвержения воздействию сепарации газов/твердых частиц, а дымовой газ 7 выходит из рекуператора и выходит после рекуперации энергии, промывки и удаления пыли. Происходит отпарка регенерированного катализатора, который оседает, отпаривающей средой 14, такой как азот, он проходит через наклонную трубу для регенерации 12 и поступает в плотнофазную секцию 1 реактора со стороны реактора через распределитель катализатора. Таким образом, реакция повторяется.

Вариант осуществления 3.

Примером данного варианта осуществления является реакционное устройство для каталитического дегидрирования алканов, реакционное устройство по настоящему изобретению далее подробно описывается вместе с фиг. 7, 8 и 10, 11.

Как представлено на фиг. 7, реакционное устройство для каталитического дегидрирования алканов включает реактор и реакционный отвеиватель 3. Реактор включает плотнофазную секцию 1 и секцию разреженной фазы 13, при этом секция разреженной фазы 13 входит в реакционный отвеиватель 3. Несколько слоев решеток 10 расположены в плотнофазной секции 1.

Циклонный узел быстрой сепарации 6' расположен в реакционном отвеивателе 3, циклонный узел быстрой сепарации 6' включает первый делитель потока 61' и второй делитель потока 62' и дополнительно включает третий делитель потока 63'. Первый, второй и третий делители потока расположены над выпускным отверстием реактора.

Циклонный узел быстрой сепарации также может обеспечивать эффект быстрой сепарации попутного газа и катализатора по настоящему изобретению, когда циклонный узел быстрой сепарации включает первый делитель потока 61' и второй делитель потока 62'. В случае если включен третий делитель потока 63', обеспечивается лучший эффект сепарации.

Первый делитель потока 61' может быть конической первой крышкой, как представлено на фиг. 8А, или первой крышкой в форме сферической короны, как представлено на фиг. 8В, а также может быть первой крышкой с конструкцией, показанной на фиг. 8С. Первый делитель потока 61', показанный на фиг. 8С, состоит из двух частей, верхняя часть имеет коническую конструкцию, а нижняя часть представляет собой первую крышку, диаметр которой постепенно увеличивается снизу вверх. Край продольной части первой крышки, проходящей через центральную линию, представлен двумя кривыми, проходящими по вершине, которые изгибаются в сторону от центра, и кривизна каждой кривой сначала увеличивается, а затем уменьшается снизу вверх. Самый нижний край конической конструкции верхней части соединяется с самым верхним краем нижней части. Верхняя и нижняя части также могут представлять собой единую конструкцию.

Как представлено на фиг. 8А, В и С, второй делитель потока 62' включает конструкцию в форме усеченного конуса и трубу отвода потока 621, которая соединяется с частью конструкции в форме усеченного конуса в месте ее наименьшего поперечного сечения или представляет собой единую конструкцию с конструкцией в форме усеченного кругового конуса, образующую второй делитель потока 62'. Первый делитель потока 61' расположен в пределах второго делителя потока 62'.

Третий делитель потока 63' имеет форму, аналогичную первому делителю потока 61'. Форма первого делителя потока и форма третьего делителя потока могут быть одинаковыми или разными. Например, первый делитель потока 61' может иметь конструкцию в форме сферической короны, а третий делитель потока 63' может иметь коническую конструкцию.

Угол между образующей линией и нижней поверхностью дна конуса каждого из первого делителя потока и третьего делителя потока (61' и 63') превышает угол естественного откоса частиц катализатора. То есть величина угла конуса связана с применяемым углом естественного откоса частиц катализатора, чтобы можно было обеспечить нисходящий поток катализатора.

Площадь поперечного сечения самой нижней оконечности (т.е. оконечности, которая находится ближе всего к выпускному отверстию реактора) первого делителя потока 61' превышает таковую у выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 реактора или равна ей, если первый делитель потока 61' представляет собой первую крышку с конической конструкцией или конструкцией в форме сферической короны. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения самой нижней оконечности первого де-

лителя потока была больше таковой относительно выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 реактора и не превышала площадь поперечного сечения секции разреженной фазы 13 реактора более чем в 2 раза.

Когда первый делитель потока 61' имеет конструкцию, как представлено на фиг. 8С, площадь поперечного сечения самой нижней оконечности конической конструкции ее верхней части больше таковой относительно выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 реактора и не превышает площадь поперечного сечения секции разреженной фазы 13 реактора более чем в 2 раза.

В данном варианте осуществления самая нижняя оконечность первого делителя потока 61' находится выше выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 реактора. Площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием секции разреженной фазы 13 реактора и нижней оконечностью первого делителя потока 61', меньше или равна площади поперечного сечения выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 реактора.

Также возможно, что самая нижняя оконечность первого делителя потока 61' находится ниже выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 реактора, как представлено на фиг. 9, площадь поперечного сечения (затемненный участок на фиг. 9) кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием секции разреженной фазы 13 реактора и первым делителем потока, меньше или равна площади поперечного сечения выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 реактора.

В данном варианте осуществления максимальная площадь поперечного сечения конструкции в форме усеченного конуса второго делителя потока 62' превышает таковую у самой нижней оконечности первого делителя потока 61' в 1,5 раза. Минимальный зазор между первым делителем потока 61' и вторым делителем потока 62' должен превышать диаметр поперечного сечения выпускного отверстия секции разреженной фазы 13 реактора.

В данном варианте осуществления площадь поперечного сечения самой нижней оконечности третьего делителя потока 63' превышает или равна таковой относительно выпускного отверстия трубы отвода потока 621 во втором делителе потока 62'. Самая нижняя оконечность третьего делителя потока находится выше положения выпускного отверстия трубы отвода потока второго делителя. Предпочтительно, чтобы площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием трубы отвода потока и нижним краем третьего делителя потока, была больше или равна площади поперечного сечения выпускного отверстия отводной трубы.

В данном варианте осуществления в реакционном отвейвателе 3, циклонный сепаратор 8 установлен снаружи циклонного узла быстрой сепарации 6', циклонный сепаратор включает как минимум два циклонных сепаратора первой ступени 81 и как минимум два циклонных сепаратора второй ступени 82 и циклонные сепараторы второй ступени сообщаются с газосборной камерой 20 через вертикальные трубы. Впускные отверстия циклонных сепараторов первой ступени 81 находятся в одной горизонтальной плоскости, что и впускное отверстие трубы отвода потока 621 второго делителя потока 62' или впускные отверстия циклонных сепараторов первой ступени 81 расположены немного ниже впускного отверстия трубы отвода потока 621. Как представлено на фиг. 11, в катализаторе, подхватываемом газом, который движется вверх в трубе отвода потока 621 второго делителя потока 62', под действием третьего делителя потока 63', одна часть катализатора непосредственно оседает и опускается вниз, а другая его часть выходит из нижней части третьего делителя потока, поток газа движется преимущественно горизонтально или по наклонной линии вниз, в сторону впускного отверстия циклонного сепаратора, а при отсутствии силы, действующей по направлению вверх, катализатор естественным образом оседает.

Как представлено на фиг. 10, несколько циклонных сепараторов расположены по окружности отвейвателя 3 на равном расстоянии друг от друга, впускные отверстия циклонных сепараторов первой ступени 81 расположены вблизи стенки отвейвателя 3, а впускные отверстия 26 всех циклонных сепараторов 81 расположены по окружности в направлении против часовой стрелки.

Циклонное устройство быстрой сепарации 6' в отвейвателе реакционного устройства также может располагаться в отвейвателе 3 устройства для регенерации.

Вариант осуществления 4.

С точки зрения устройства для реакции каталитического дегидрирования алканов/регенерации с циркулирующим взвешенным слоем по настоящему изобретению, реакционное устройство и устройство для регенерации расположены параллельно согласно фиг. 12.

Устройство для регенерации катализатора каталитического дегидрирования алканов включает рекуператор, в котором содержится катализатор и блок рекуперативного отвейвателя 5, как рекуператор, так и блок рекуперативного отвейвателя представляют собой баки. Блок рекуперативного отвейвателя 5 расположен над рекуператором, рекуператор включает плотнофазную секцию 4 и секцию разреженной фазы 15. Трубная решетка плотнофазной секции 4 предусматривается с четырьмя топливными форсунками 22 в осевом направлении. Форсунки 22 являются равноудаленными и самая верхняя топливная форсунка расположена на расстоянии 1/2-2/3 общей высоты плотнофазной секции рекуператора от нижней части рекуператора. Нижняя часть плотнофазной секции 4 предусматривается с впускным отверстием для воздуха и топливными форсунками 22.

В рекуперативном отвейвателе 5 расположены два слоя сеток 23 из жаропрочной нержавеющей

стали.

Реакционное устройство для каталитического дегидрирования алканов включает реактор и реакционный отвейватель 3, расположенный в верхней части реактора, реактор включает распределитель катализатора 2, плотнофазную секцию 1 и секцию разреженной фазы 13. И плотнофазная секция 1, и секция разреженной фазы 13 представляют собой конструкции одного диаметра, а секция разреженной фазы 13 входит в реакционный отвейватель 3. Распределитель катализатора 2 располагается между 1/6 и 5/6, предпочтительно 1/2 и 2/3, высоты плотнофазной секции 1 реактора на основании нижней части реактора и распределитель катализатора 2 располагается над впускным отверстием исходного продукта дегидрирования алканов.

Несколько слоев решеток 10 расположены в плотнофазной секции 1 реактора.

В примерах опытов 2-5, реакция проводится с использованием устройства для реакции каталитического дегидрирования алканов/регенерации согласно варианту осуществления 1 настоящего изобретения. Конкретный процесс реакции и результаты реакции представлены в примерах опытов 2-5. В примере опыта 1 кольцевая труба для подачи катализатора по настоящему изобретению не используется.

Катализатор ADHO-1, используемый в примерах опытов 1-5, представляет собой катализатор дегидрирования алканов по изобретательскому патенту № ZL201110123675.1. Носитель катализатора - алюминий; а также катализатор, приготовленный из оксида цинка, оксида вольфрама и оксида натрия. Массовое соотношение оксида цинка к оксиду вольфрама составляет приблизительно 8,4, содержание оксида натрия - в приемлемых пределах.

Пример опыта 1. Дегидрирование пропана в пропилен.

Исходный продукт: 99,9 мас.%, пропана.

Катализатор: экологически приемлемый металлооксидный катализатор ADHO-1 (ZL201110123675.1).

Средняя температура слоя: 600°C.

Структурная форма системы реакции-регенерации: регенерированный катализатор попадает в реактор со стороны реактора в точке на отметке, соответствующей 1/2 высоты плотнофазной секции реактора на основании нижней части реактора. Наклонная труба для регенерации заканчивается отверстием на стороне реактора.

Пример опыта 2. Дегидрирование пропана в пропилен.

Исходный продукт: 99,9 мас.%, пропана.

Катализатор: экологически приемлемый металлооксидный катализатор ADHO-1 (ZL201110123675.1).

Средняя температура слоя: 600°C.

Структурная форма системы реакции-регенерации: регенерированный катализатор попадает в реактор со стороны реактора в точке на отметке, соответствующей 1/2 высоты плотнофазной секции реактора на основании нижней части реактора.

Наклонная труба для регенерации соединена с трубой распределения катализатора с множеством отверстий на круговой стороне; положения отверстий в кольцевой трубе распределения катализатора представлены на фиг. 1.

Пример опыта 3. Дегидрирование пропана в пропилен.

Исходный продукт: 99,9 мас.%, пропана.

Катализатор: экологически приемлемый металлооксидный катализатор ADHO-1 (ZL201110123675.1).

Средняя температура слоя: 600°C.

Структурная форма системы реакции-регенерации: регенерированный катализатор попадает в реактор со стороны реактора в точке на отметке, соответствующей 2/3 высоты плотнофазной секции реактора на основании нижней части реактора.

Наклонная труба для регенерации соединена с трубой распределения катализатора с множеством отверстий на круговой стороне; положения отверстий в кольцевой трубе распределения катализатора представлены на фиг. 1.

Таблица 1

Селективность пропилена и состав суммарного продукта при дегидрировании пропана, мас.% в примерах опытов 1-3

Композиция	Пример опыта 1		Пример опыта 2		Пример опыта 3	
	Состав суммарного продукта	Селективность	Состав суммарного продукта	Селективность	Состав суммарного продукта	Селективность
H ₂	1,5	4,31	1,61	4,39	1,66	4,16
CH ₄	1,98	5,69	1,64	4,47	1,42	3,56
C ₂ H ₆	1,63	4,69	1,02	2,78	0,93	2,33
C ₂ H ₄	0,78	2,24	0,51	1,39	0,61	1,53
C ₃ H ₈	65,22		63,34		60,12	
C ₃ H ₆	26,91	77,37	30,62	83,52	34,17	85,68
C ₄ H ₈	0,72	2,07	0,41	1,12	0,43	1,08
C5+	0,32	0,92	0,21	0,57	0	0,00
Нагар	0,94	2,71	0,64	1,75	0,66	1,65

Пример опыта 4. Дегидрирование изобутана в изобутилен.

Исходный продукт: 99,9 мас.%, изобутана.

Катализатор: экологически приемлемый металлооксидный катализатор ADHO-1 (ZL201110123675.1).

Средняя температура слоя: 580°C.

Структурная форма системы реакции-регенерации: регенерирующий агент попадает в реактор со стороны реактора в точке на отметке, соответствующей 1/2 высоты плотнофазной секции реактора на основании нижней части реактора. Наклонная труба для регенерации соединена с трубой распределения катализатора с множеством отверстий на круговой стороне; положения отверстий в кольцевой трубе распределения катализатора представлены на фиг. 1.

Пример опыта 5. Дегидрирование изобутана в изобутилен.

Исходный продукт: 99,9 мас.%, изобутана.

Катализатор: экологически приемлемый металлооксидный катализатор ADHO-1 (ZL201110123675.1).

Средняя температура слоя: 580°C.

Структурная форма системы реакции-регенерации: регенерирующий агент попадает в реактор со стороны реактора в точке на отметке, соответствующей 2/3 высоты плотнофазной секции реактора на основании нижней части реактора. Наклонная труба для регенерации соединена с трубой распределения катализатора с множеством отверстий на круговой стороне; положения отверстий в кольцевой трубе распределения катализатора представлены на фиг. 1.

Таблица 2
Селективность изобутилена и состав суммарного продукта при дегидрировании изобутана, мас.% в примерах опытов 4-5

Композиция	Пример опыта 4		Пример опыта 5	
	Состав суммарного продукта	Селективность	Состав суммарного продукта	Селективность
H ₂	1,61	3,23	1,59	2,96
CH ₄	1,94	3,70	1,61	2,81
C ₂ H ₆	0,36	0,72	0,23	0,43
C ₂ H ₄	0,45	0,90	0,41	0,76
C ₃ H ₈	1,51	3,03	1,02	1,90
C ₃ H ₆	1,42	2,85	0,88	1,64
i-C ₄ H ₁₀	50,11	-	46,11	
n-C ₄ H ₁₀	0,06	0,12	0,04	0,07
n-C ₄ H ₈	0,56	1,12	0,36	0,67
i-C ₄ H ₈	40,13	80,60	45,95	85,42
C ₅ +	0,61	1,23	0,61	1,13
Нагар	1,24	2,49	1,19	2,21

Следующее представляет собой реакцию дегидрирования, которая проводится с использованием реакционного устройства для каталитического дегидрирования алканов согласно варианту осуществления 2 настоящего изобретения. Конкретный процесс реакции и результаты реакции представлены в примере опыта 7.

Условия реакции для примеров опытов 6-7 являются следующими: прочие условия реакции, исходный продукт: 99,9 мас.%, пропана.

Катализатор: используется катализатор дегидрирования алканов по патенту №ZL201110123675.1; носитель катализатора - алюминий; а также катализатор, приготовленный из оксида цинка, оксида вольфрама и оксида натрия. Массовое соотношение оксида цинка к оксиду вольфрама составляет приблизительно 8,4, содержание оксида натрия - в приемлемых пределах.

Средняя температура слоя: 600°C.

Пример опыта 6.

Пример опыта 1: линейная скорость на выпускном отверстии транспортировочной трубы разреженной фазы составляет 10 м/с, внутри реакционного отщепителя устроен простой полусферический барьер, при этом площадь поперечного сечения нижней оконечности барьера в 3 раза больше площади поперечного сечения выпускного отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы. Барьер находится на расстоянии 2 м от поверхности сопряжения разреженной и плотной фаз, а расстояние по вертикали между барьером и выпускным отверстием транспортировочной трубы разреженной фазы реактора составляет 1/2 радиуса полусферы. Приведенная скорость газового потока внутри отщепителя составляет 0,6 м/с. Концентрация катализатора (которая также может именоваться плотностью взвешивания катализатора) на выпускном отверстии транспортировочной трубы разреженной фазы, согласно замерам, составляет 40 кг/м³, концентрация катализатора на впускном отверстии циклонного сепаратора составляет 10 кг/м³, а эффективность сепарации газов/твердых частиц структуры составляет 75%. Перепад давления этой структуры составляет 1,3 МПа.

Пример опыта 7.

Реакция дегидрирования алканов проводится с использованием реакционного устройства по варианту осуществления 2 в настоящем примере опыта. Угол между образующей линией и поверхностью дна крышки в форме усеченного конуса составляет 45°, площадь поверхности дна соответствует площади поперечного сечения цилиндрической конструкции в нижней части по варианту осуществления 2, а расстояние по вертикали между нижней оконечностью крышки и выпускным отверстием нагнетательной трубы разреженной фазы составляет половину радиуса цилиндрической конструкции крышки. Половина общего объема газа проходит через первичный циклонный сепаратор, при этом линейная скорость на впускном отверстии составляет 5 м/с. Концентрация катализатора на выпускном отверстии нагнетательной трубы разреженной фазы по-прежнему составляет 40 кг/м³, но концентрация катализатора на впускном отверстии циклонного сепаратора первой ступени составляет 3 кг/м³, а эффективность сепарации

газов/твердых частиц этой структуры - 92,5%. Перепад давления этой структуры составляет менее 1 МПа.

Следующее представляет собой реакцию дегидрирования, которая проводится с использованием реакционного устройства для каталитического дегидрирования алканов согласно варианту осуществления 3 настоящего изобретения. Конкретный процесс реакции и результаты реакции представлены в примере опыта 9.

Условия реакции примеров опытов 8-9 являются следующими: Прочие условия реакции, исходный продукт: 99,9 мас.%, пропана.

Катализатор: используется катализатор дегидрирования алканов по патенту №ZL201110123675.1; носитель катализатора - алюминий; а также катализатор, приготовленный из оксида цинка, оксида вольфрама и оксида натрия. Массовое соотношение оксида цинка к оксиду вольфрама составляет приблизительно 8,4, содержание оксида натрия - в приемлемых пределах.

Средняя температура слоя: 600°C.

Пример опыта 8.

На фиг. 1 представлены прочие стандартные элементы конструкции для других реакционных устройств, кроме узла быстрой сепарации, который различается. Реакционное устройство по настоящему примеру опыта оснащается коническим делителем потока над выпускным отверстием транспортировочной трубы разреженной фазы в отвеивателе, как представлено на фиг. 9, при этом площадь поперечного сечения нижней оконечности делителя потока в 3 раза больше площади поперечного сечения выпускного отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы, а угол между образующей линией и поверхностью дна конуса делителя потока составляет 60°. Площадь кольцевого зазора между делителем потока и местом расположения выпускного отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы в 1,5 раза превышает площадь выпускного отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы. Нижняя оконечность делителя потока расположена в плотнофазной секции отвеивателя, на расстоянии 2 м от поверхности сопряжения разреженной и плотной фаз. Линейная скорость на выпуске отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы реактора составляет 10 м/с, а приведенная скорость газового потока внутри отвеивателя составляет 0,6 м/с. Концентрация катализатора (которая также может именоваться плотностью взвешивания катализатора) на выпускном отверстии нагнетательной трубы разреженной фазы, согласно замерам, составляет 42 кг/м³, концентрация катализатора на впускном отверстии циклонного сепаратора составляет 9,8 кг/м³, а эффективность сепарации газов/твердых частиц этой структуры составляет 77%. Перепад давления этой структуры составляет 1,15 МПа.

Пример опыта 9.

Прочие условия такие же, но в циклонном узле быстрой сепарации по настоящему примеру опыта используется композитный делитель потока, как представлено на фиг. 1. Как представлено на фиг. 8, угол между образующей линией и поверхностью дна конуса каждого первого, второго и третьего делителя потока составляет 60°. Поверхность дна первого делителя потока находится выше выпускного отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы. Площадь кольцевого зазора, образованного положением площади кольцевого зазора (проточная площадь) между первым делителем потока и выпускным отверстием нагнетательной трубы разреженной фазы в 2,5 раза превышает площадь выпускного отверстия нагнетательной трубы разреженной фазы. Площадь дна второго делителя потока в 3 раза превышает площадь поперечного сечения выпускного отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы. Расстояние между первым делителем потока и вторым делителем потока в 1,2 раза превышает диаметр выпускного отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы. Площадь выпускного отверстия в верхней части второго делителя потока равняется площади выпускного отверстия транспортировочной трубы разреженной фазы, а площадь дна третьего делителя потока аналогичная той, которую имеет первый делитель потока. Концентрация катализатора на выпускном отверстии нагнетательной трубы разреженной фазы по-прежнему составляет 42 кг/м³. Концентрация катализатора на впускном отверстии циклонного сепаратора составляет 2,8 кг/м³, а эффективность сепарации газов/твердых частиц этой структуры составляет 93,3%. Перепад давления этой структуры составляет менее 0,7 МПа.

В примерах опытов 10-12 дополнительно демонстрируется влияние процесса регенерации на катализатор каталитического дегидрирования алканов по настоящему изобретению в сочетании с вариантом осуществления 5:

Пример опыта 10.

При том, что природный газ используется в качестве топлива, значение соотношения воздуха к топливу устанавливается в зависимости от полного сгорания природного газа для образования диоксида углерода и воды. Катализатор, который оседает в блоке отвеивателя рекуператора, имеет температуру 750°C. Топливо распыляется в рекуператор через 5 равноудаленных форсунок, а массовое соотношение распыляемого топлива составляет 5:4:3:2:1 снизу вверх. Сетка или решетка из нержавеющей стали не предусматривается внутри блока отвеивателя рекуператора, и отработанный катализатор и катализатор, возвращающийся из внешней циркуляционной трубы катализатора, находятся на уровне выше главной (воздушной) трубы распределения воздуха в нижней части рекуператора. Температура отработанного катализатора, возвращающегося в рекуператор, составляет 556°C. Температура в пяти точках измерения

температуры в различных осевых положениях рекуператора составляет 718, 757, 769, 782 и 775°C соответственно, а концентрация NOx в дымовом газе составляет 94 мг/м³. При введении топлива в различных осевых положениях можно не только избежать образования горячих точек, но также обеспечить более эффективное уменьшение концентрации NOx в дымовом газе.

Пример опыта 11.

Прочие соответствуют примеру опыта 10. Разница от примера опыта 10 заключается в том, что в блоке отвеивателя рекуператора устроены два слоя решеток из нержавеющей стали, и концентрация NOx в дымовом газе, согласно замерам, составляет 36 мг/м³. Очевидно, что решетки из нержавеющей стали могут стать катализатором уменьшения концентрации NOx.

Пример опыта 12.

При том, что природный газ используется в качестве топлива, значение соотношения воздуха к топливу устанавливается в зависимости от полного сгорания природного газа для образования диоксида углерода и воды, температура катализатора, который оседает в блоке отвеивателя рекуператора, составляет 750°C. Все топливо поступает в нижнюю часть рекуператора, при этом сетка или решетка из нержавеющей стали не предусматривается внутри блока отвеивателя рекуператора, а отработанный катализатор и катализатор, возвращающийся из внешней циркуляционной трубы катализатора, находятся уровне ниже главной (воздушной) трубы распределения воздуха в нижней части рекуператора. Температура отработанного катализатора, возвращающегося в рекуператор, составляет 556°C. Температура в пяти точках измерения температуры в различных осевых положениях рекуператора составляет 830, 812, 793, 786 и 774°C соответственно, а концентрация NOx в дымовом газе составляет 144 мг/м³. Когда топливо и воздух поступают в рекуператор в одном и том же осевом положении, происходит быстрое концентрированное сгорание топлива, в результате чего образуются горячие пятна.

Настоящее изобретение подробно описывается для того, чтобы специалисты в этой области техники могли понять и испытать на практике содержимое настоящего изобретения, и не предназначено для того, чтобы ограничивать объем настоящего изобретения. Все эквивалентные изменения или модификации, осуществляемые согласно сущности настоящего изобретения, подпадают под объем его правовой охраны.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для реакции дегидрирования алканов в псевдооживленном слое, включающее реактор, реакционный отвеиватель, сообщаемый с реактором, и впускное отверстие исходного сырья реакции, расположенное на реакторе, отличающееся тем, что распределитель катализатора для подачи твердого катализатора устанавливается в реакторе таким образом, что катализатор распыляется в реактор в направлении периферийной стенки реактора от его центральной оси, а впускное отверстие исходного сырья реакции размещается ниже распределителя катализатора, при этом периферийная стенка реактора расположена параллельно центральной оси реактора, распределитель катализатора представляет собой кольцевую трубу, которая имеет структуру замкнутого кольца, образуемую трубой с круговым поперечным сечением, причем кольцевая труба имеет центральную ось, совпадающую с центральной осью реактора в вертикальном положении, а также отверстие для подачи твердого катализатора, расположенное в стенке кольцевой трубы по направлению к центральной оси кольцевой трубы.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что отверстие в кольцевой трубе, обеспечивающее распыление катализатора, расположено на стенке кольцевой трубы на минимальном расстоянии от центральной оси кольцевой трубы.

3. Устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что отверстие в кольцевой трубе является сквозным проемом, находящимся вокруг центральной оси кольцевой трубы; или

два или несколько отверстий расположены на стенке кольцевой трубы по направлению к центральной оси кольцевой трубы по окружности на равном расстоянии.

4. Устройство по п. 1 или 2, отличающееся тем, что на основании плоскости стенки кольцевой трубы, расположенной максимально близко к центральной оси, имеется отверстие, обеспечивающее распыление катализатора, которое располагается на стенке кольцевой трубы с одной стороны плоскости стенки и направлено в сторону центральной оси кольцевой трубы.

5. Устройство по любому из пп.1-4, отличающееся тем, что реактор включает плотнофазную секцию и секцию разреженной фазы, и секция разреженной фазы расположена над плотнофазной секцией, распределитель катализатора располагается между 1/6 и 5/6 высоты плотнофазной секции реактора на основании нижней части реактора.

6. Устройство по любому из пп.1-5, отличающееся тем, что в реакционном отвеивателе расположены первичный циклонный сепаратор, вертикальная труба первичного циклона и крышка;

крышка содержит верхнюю и нижнюю части; верхняя часть крышки представляет собой усеченный конус, а нижняя часть крышки представляет собой нижнее основание; площадь проема в самой нижней части крышки превышает таковую для выпускного отверстия реактора;

окружность верхней части основания упомянутого усеченного конуса соединяется с крайней ча-

стью вертикальной трубы первичного циклона или же с конечной частью этого циклона над впускным отверстием первичного циклонного сепаратора; кроме того, весь первичный циклонный сепаратор или его часть располагается внутри крышки;

при этом нижняя часть крышки представляет собой цилиндрическую конструкцию.

7. Устройство по п.6, отличающееся тем, что первичный циклонный сепаратор включает корпус этого циклонного сепаратора и транспортирующую часть, расположенную под корпусом, а край верхнего основания крышки в форме усеченного конуса соединен с крайней частью над впускным отверстием первичного циклонного сепаратора;

вертикальная труба первичного циклона расположена у вершины корпуса первичного циклонного сепаратора и сообщается с ним, а край верхнего основания крышки в форме усеченного конуса соединяется с крайней частью вертикальной трубы первичного циклона.

8. Устройство по п.7, отличающееся тем, что самая нижняя оконечность крышки в пределах реакционного отвейвателя находится ниже выпускного отверстия реактора.

9. Устройство по любому из пп.6-8, отличающееся тем, что угол θ между образующей линией усеченного конуса и нижним основанием крышки в форме усеченного конуса превышает угол естественного откоса частиц катализатора.

10. Устройство по любому из пп.6-8, отличающееся тем, что площадь проема в самой нижней оконечности крышки больше или равна таковой для выпускного отверстия реактора; при этом площадь проема в самой нижней оконечности крышки превышает площадь выпускного отверстия реактора в 1,5-5 раз.

11. Устройство по любому из пп.6-8, отличающееся тем, что циклонный сепаратор установлен снаружи крышки в реакционном отвейвателе, а вертикальная труба первичного циклона не соединяется с впускным отверстием циклонного сепаратора;

при этом выпускное отверстие вертикальной трубы первичного циклона и впускное отверстие циклонного сепаратора находятся в одной горизонтальной плоскости, или же выпускное отверстие вертикальной трубы первичного циклонного сепаратора находится выше впускного отверстия циклонного сепаратора.

12. Устройство по любому из пп.6-8, отличающееся тем, что выпускное отверстие транспортирующей части первичного циклонного сепаратора находится ниже выпускного отверстия реактора,

при этом выпускное отверстие транспортировочной части и выпускное отверстие секции разреженной фазы не совпадают в осевом направлении реакционного отвейвателя.

13. Устройство по любому из пп.1-5, отличающееся тем, что выпускное отверстие реактора расположено в реакционном отвейвателе; реакционный отвейватель содержит первый делитель потока и второй делитель потока; первый и второй делители потока расположены над выпускным отверстием реактора;

первый делитель потока предназначен для снижения скорости потока газа, направленного вверх, который выходит через выпускное отверстие реактора,

второй делитель потока включает в себя вторую крышку с проемами в верхней и нижней оконечностях, причем площадь поперечного сечения проема в нижней оконечности больше таковой у верхней оконечности; а также первый делитель потока помещается во второй;

при этом второй делитель потока представляет собой вторую крышку в форме усеченного конуса; или же он представляет собой вторую крышку с конструкцией в форме сферической короны, и эта конструкция оснащена выпускным отверстием.

14. Устройство по п.13, отличающееся тем, что первый делитель потока представлен первой крышкой, площадь поперечного сечения которой постепенно уменьшается по направлению снизу вверх, и она оснащена проемом только в самой нижней оконечности;

при этом первый делитель потока представляет собой конструкцию в форме конуса или сферической короны.

15. Устройство по п.14, отличающееся тем, что минимальный зазор между первым делителем потока и вторым делителем потока превышает диаметр поперечного сечения выпускного отверстия реактора.

16. Устройство по п.15 или 16, отличающееся тем, что площадь поперечного сечения оконечности первого делителя потока, расположенной вблизи выпускного отверстия реактора, больше или равна площади поперечного сечения этого выпускного отверстия.

17. Устройство по п.13, отличающееся тем, что первый делитель потока включает первую крышку в форме конической конструкции, площадь поперечного сечения которой постепенно увеличивается снизу вверх, края поперечного сечения первой крышки, проходящие через вершину конуса в продольном направлении, представлены двумя кривыми, проходящими через эту вершину, и кривизна каждой кривой сначала возрастает, а затем уменьшается по направлению от вершины до края конического основания; при этом первый делитель потока включает полость в конической конструкции, площадь поперечного сечения которой постепенно увеличивается по направлению сверху вниз; оконечность полости, расположенная рядом с выпускным отверстием реактора, представляет собой ее основание; оконечность первой крышки, расположенная на расстоянии от выпускного отверстия реактора, представляет собой осно-

вание этой крышки в форме конической конструкции, и это основание соединено с основанием полости.

18. Устройство по любому из пп.13-17, отличающееся тем, что второй делитель потока дополнительно включает трубу отвода потока, конец которой соединен с верхним проемом второй крышки;

при этом труба отвода потока представлена прямой трубой одинакового диаметра или направляющей трубой переменного диаметра.

19. Устройство по любому из пп.13-17, отличающееся тем, что площадь поперечного сечения выпускного отверстия второго делителя потока превышает таковую у реактора.

20. Устройство по любому из пп.13-19, отличающееся тем, что в реакционном отводе установлен третий делитель потока, расположенный над вторым делителем потока, и этот делитель представлен третьей крышкой, площадь поперечного сечения которой постепенно уменьшается по направлению снизу вверх, а также в ней имеется проем только в самой нижней оконечности;

при этом третий делитель потока представляет собой конструкцию в форме конуса или сферической короны.

21. Устройство по п.20, отличающееся тем, что площадь поперечного сечения самой нижней оконечности третьего делителя потока превышает или равна таковой относительно выпускного отверстия второго делителя потока.

22. Устройство по п.21, отличающееся тем, что самая нижняя оконечность третьего делителя потока находится ниже выпускного отверстия трубы отвода потока второго делителя потока; при этом площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием трубы отвода потока и третьим делителем потока, больше или равна площади поперечного сечения выпускного отверстия трубы отвода потока;

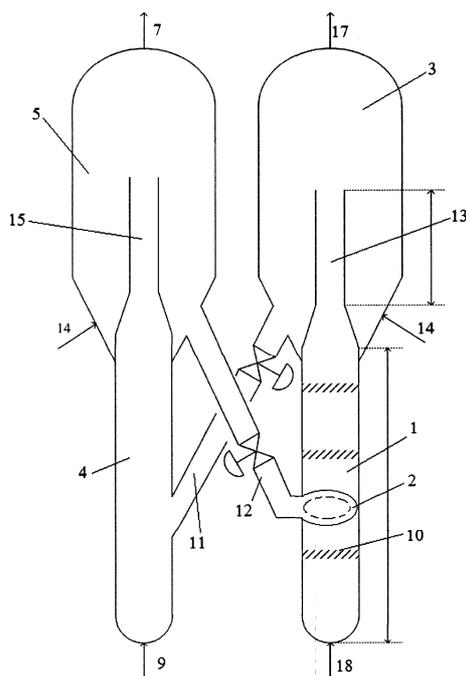
или самая нижняя оконечность третьего делителя потока находится выше выпускного отверстия трубы отвода потока второго делителя потока; площадь поперечного сечения кольцевого зазора, образуемого выпускным отверстием трубы отвода потока и нижней оконечностью третьего делителя потока, больше или равна площади поперечного сечения выпускного отверстия трубы отвода потока.

23. Устройство по любому из пп.1-5, включающее устройство для регенерации, отличающееся тем, что устройство для регенерации включает рекуператор, в котором содержится катализатор, и рекуперативный отвод, расположенный над рекуператором, а также тем, что рекуператор включает плотнофазную секцию и секцию разреженной фазы, а трубная решетка плотнофазной секции предусматривается с топливными форсунками в осевом направлении.

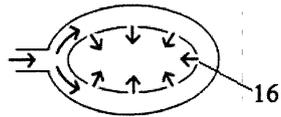
24. Устройство по п.23, отличающееся тем, что секция разреженной фазы рекуператора расположена над плотнофазной секцией, а также тем, что трубная решетка плотнофазной секции рекуператора предусматривается с несколькими топливными форсунками в осевом направлении.

25. Устройство по п.23 или 24, отличающееся тем, что самая верхняя топливная форсунка расположена на расстоянии от 1/2 до 2/3 общей высоты плотнофазной секции рекуператора.

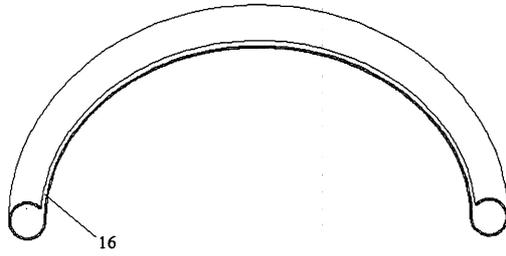
26. Устройство по любому из пп.23-25, отличающееся тем, что в рекуперативном отводе установлена решетка или сетка, изготовленная из черного металла.



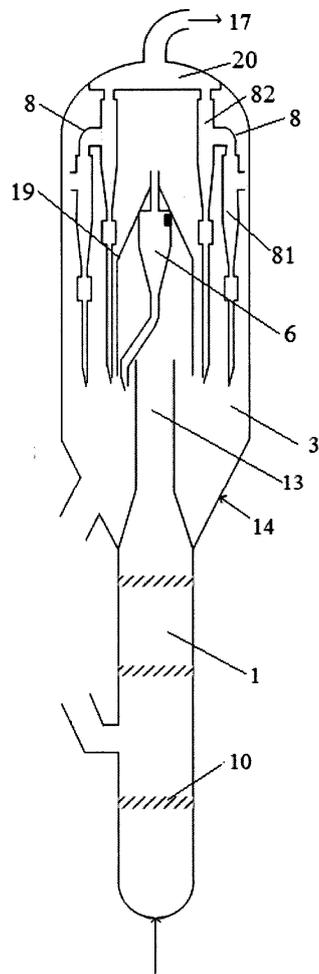
Фиг. 1



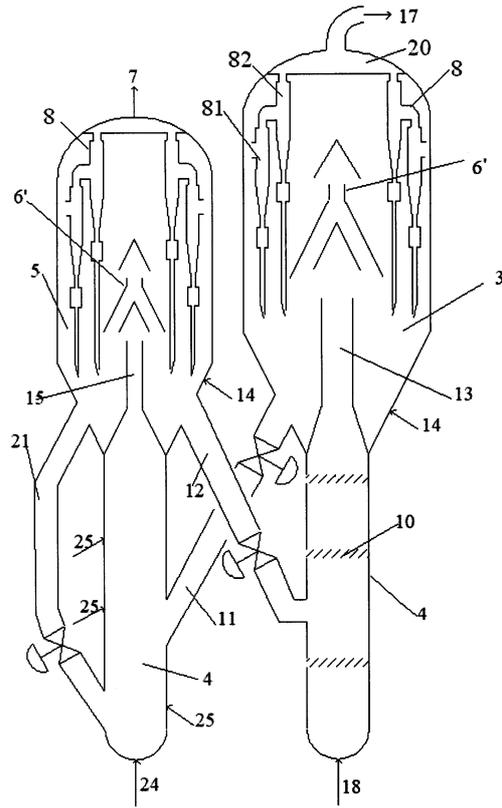
Фиг. 2



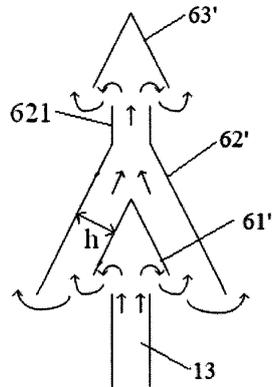
Фиг. 3



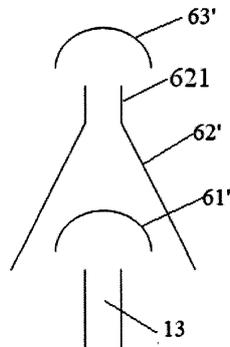
Фиг. 4



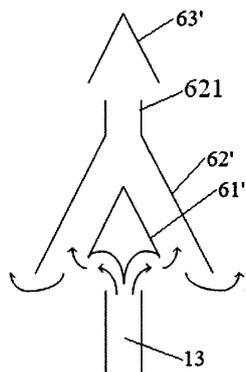
Фиг. 7



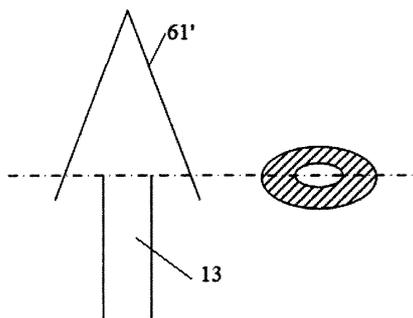
Фиг. 8А



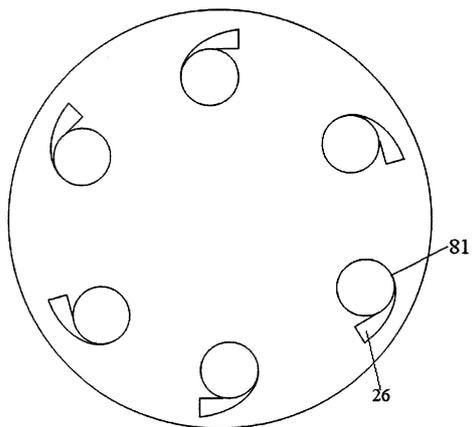
Фиг. 8В



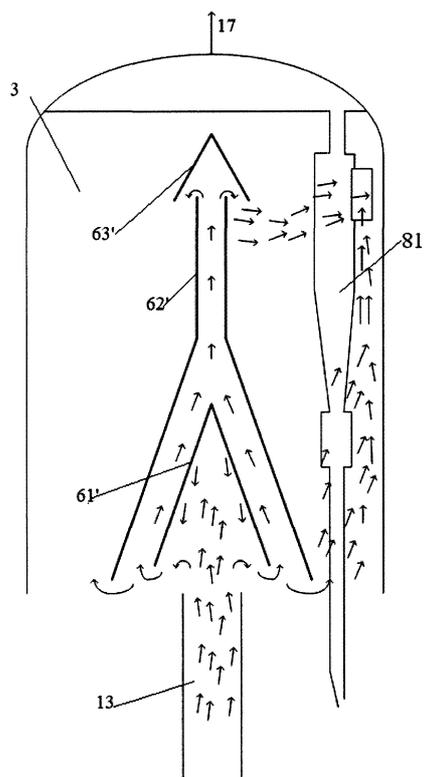
Фиг. 8С



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

