

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 040074

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.04.18

(51) Int. Cl. B01J 10/00 (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)

(21) Номер заявки
202190175

(22) Дата подачи заявки
2018.09.06

(54) БАРБОТАЖНЫЙ КОЖУХОТРУБНЫЙ АППАРАТ

(43) 2021.06.30

(56) US-B2-8506895

(86) PCT/RU2018/000590

(87) WO 2020/050738 2020.03.12

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО "СИБУР
ХОЛДИНГ" (RU)

(72) Изобретатель:
Конков Олег Александрович,
Липских Максим Владимирович (RU)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Настоящее изобретение относится к оборудованию для осуществления газожидкостных процессов. Заявленный барботажный кожухотрубный аппарат содержит по меньшей мере одну вертикальную кожухотрубную секцию, представляющую собой корпус с устройствами ввода реагентов и вывода продуктов реакции, ввода и вывода теплоносителя, а также первую и вторую группы трубок, закрепленных в верхней и нижней трубных решетках. Трубки первой группы выступают за пределы нижней трубной решетки, а трубки второй группы выполнены с расположением их концов по существу вровень с нижней трубной решеткой, при этом трубки первой группы распределены по существу равномерно по трубной решетке. При осуществлении способа проведения химических реакций в барботажном кожухотрубном аппарате согласно изобретению трубки первой группы работают в качестве циркуляционных трубок, а трубки второй группы работают в качестве барботажных трубок.

B1

040074

040074

B1

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

Изобретение относится к области технологического оборудования для осуществления газожидкостных процессов и может быть использовано в химической, нефтехимической и других областях промышленности.

Уровень техники

Для большинства газожидкостных процессов один или несколько исходных реагентов находятся в газовой фазе, и для протекания реакции требуется их перевод в жидкую фазу либо на границу двух фаз, что требует высоких коэффициентов массообмена. Также процессы, проводимые в жидкой и газовой фазе, зачастую сопровождаются большим выделением или поглощением тепла, что требует обеспечения эффективного теплообмена между смесью и теплоносителем.

Кроме того, важное значение имеет равномерность условий протекания процесса тепло- и массообмена по всему объему аппарата, так как локальное завышение или занижение значений температуры реакционной смеси или концентрации реагентов может привести к снижению селективности и конверсии процесса, скорости протекания реакции. Такая равномерность условий протекания реакций может быть достигнута за счет использования оборудования с равномерным распределением трубок по объему, т.е. с распределением трубок, обеспечивающим выравнивание скоростей движения жидкой фазы по всему объему аппарата и устранение застойных зон.

Из уровня техники известен кожухотрубный аппарат, раскрытый в US 5846498 (опубл. 08.12.1998), для проведения экзотермических газожидкостных процессов (реакций). Согласно данному техническому решению аппарат включает расположенную в нем полую всасывающую трубу. Внутри трубы находится вращающаяся мешалка, способствующая рециркуляции жидкости вниз по трубе в нижнюю часть смесительной камеры. Жидкий поток поступает в аппарат через линию подачи, газ вводят выше уровня жидкости по линии. Данный аппарат отличается улучшенным теплопереносом, высокой производительностью и селективностью благодаря использованию принудительной циркуляции, создаваемой с помощью вращающейся мешалки. Однако закрепление быстровращающейся конструкции с одной точкой крепления (только в верхнем положении) является технически сложной задачей, поскольку при вращении мешалки возникает опасность ее отклонения от оси вращения под действием тангенциальных сил. В этом случае потребуются специальные уплотнения вала мешалки при работе на повышенных давлениях. Кроме того, для создания нисходящего газожидкостного потока по центральной трубе необходима высокая скорость жидкости, которая приведет к дополнительным потерям энергии при вращении мешалки. При этом даже при значительной скорости вращения мешалки длина аппарата будет сильно ограничена.

В документе RU 2040940 (опубл. 09.08.1995) представлен аппарат для проведения газожидкостных химических и тепломассообменных процессов с большим тепловым эффектом, который позволяет уменьшить дисперсию времени пребывания (т.е. отклонение значения времени пребывания реальных потоков от расчетного значения) жидкого реагента в аппарате путем организации его многоходового движения через рабочую зону. Аппарат включает пучок барботажных (по которым газожидкостная смесь движется снизу вверх) и циркуляционных (по которым осуществляется возврат (циркуляция) жидкости в нижнюю часть аппарата) труб, закрепленных в трубных решетках и размещенных в цилиндрическом вертикальном корпусе, верхнюю камеру с вертикальными пластинами и нижнюю камеру с газораспределительным устройством. Корпус снабжен штуцерами для ввода и вывода теплоносителя, нижняя камера снабжена штуцером ввода газа и дренажным штуцером. Отличительной особенностью предлагаемого аппарата является наличие вертикальной перемычки в нижней камере, а также наличие газораспределительного устройства, выполненного в виде горизонтальной перегородки с отверстиями по осям барботажных труб. При этом перемычки смещены относительно пластин в верхней камере так, что создают многоходовой канал для движения жидкости от входного штуцера к выходному. Указанные элементы позволяют снизить дисперсию времени пребывания отдельных порций жидкости. Изменяя количество и размещение пластинок в верхней камере и перемычек в нижней камере, можно создать аппараты с необходимым числом ходов по трубному пространству, которое может варьироваться от 2 до 6-10. Однако такой аппарат требует большого расхода газа, который необходим для предотвращения попадания большого объема жидкости в нижнюю газовую камеру. Но даже при режиме работы с большим расходом газа полностью избежать попадания жидкости в нижнюю камеру не удастся, что может привести к потерям реагентов. Следовательно, для известного из RU 2040940 аппарата характерно наличие нерабочих зон, занимаемых газом. Кроме того, вследствие возможной закупорки отверстий является нежелательным использование данного аппарата в процессах, которые могут сопровождаться выпадением твердого осадка, высокомолекулярных и/или высоковязких соединений, в том числе смол и полимеров, а также процессов, сопровождающихся кристаллизацией одного из компонентов реакционной смеси.

В описанных ниже аппаратах, известных из предшествующего уровня техники, достигается равномерное распределение газа по сечению аппарата (т.е. в любой точке трубки в горизонтальном сечении аппарата концентрация газа одинакова) за счет того, что в стенках труб, находящихся под нижней трубной решеткой, имеются отверстия для перехода газа, поступающего в трубы из газовой подушки, образующейся под трубной решеткой. Однако использование аппаратов с отверстиями в стенках труб затруднительно в процессах, сопровождающихся образованием кристаллизующихся и выпадающих в оса-

док продуктов реакции или катализатора вследствие закупорки этих отверстий и нарушения гидродинамических параметров аппарата. Вероятность образования взрывоопасных смесей газа и паров жидкости в газовом пространстве под нижней трубной решеткой также ограничивает возможности использования таких аппаратов.

Представленный в документе SU 1212550 (опубл. 23.02.1986) газлифтный аппарат включает вертикальный цилиндрический корпус с расположенными внутри него верхней и нижней трубной решеткой, в которых закреплен вертикальный пучок циркуляционных и барботажных труб. Верхние торцы барботажных труб расположены выше торцов циркуляционных труб. С целью повышения производительности за счет увеличения реакционной зоны аппарата, поверхности контакта фаз и создания устойчивой циркуляции аппарат снабжен установленной над верхней трубной решеткой дополнительной трубной решеткой с образованием между ними газовой камеры. Концы барботажных труб расположены в газовой фазе, а концы циркуляционных труб - в жидкой фазе, при этом на участках циркуляционных труб, расположенных в газовой камере, выполнены отверстия. Аппарат снабжен сепарационной камерой с каплеотбойником и штуцерами для ввода и вывода фаз и тепло- или хладоносителя. Заявленная конструкция аппарата не позволяет исключить попадание жидкости из циркуляционных труб в верхнюю газую камеру, что может привести к нарушению его работы. Кроме того, для газа в циркуляционных трубках, попадающего из верхней газовой камеры, возможны затруднения в движении в нижнюю часть аппарата под воздействием жидкой фазы.

Аппарат, раскрытый в документе SU 129643 (опубл. 01.01.1960), выполнен в виде вертикального корпуса с центральной циркуляционной трубой. Каждая труба аппарата выполнена с удлиненным концом, проходящим через нижнюю трубную решетку с отверстиями. Нижний срез циркуляционной трубы находится ниже срезов труб. При подаче газа в аппарат через патрубок жидкость, заполняющая полость под трубной решеткой, отжимается вниз и под трубной решеткой образуется газовая подушка; газ барботирует через отверстия всех труб, и таким образом достигается равномерное распределение газа по сечению аппарата. Поднимаясь по трубам, пузырьки газа увлекают за собой жидкость, создавая ее интенсивную циркуляцию, что улучшает теплообмен. Однако в описании данного технического решения не раскрывается, что данный аппарат обеспечивает стабильный теплообмен (т.е. отсутствие изменения градиента температур в аппарате во времени) по всему объему аппарата. Поскольку газожидкостный поток в барботажных трубках данного аппарата, непосредственно примыкающих к центральной циркуляционной трубе, будет иметь более высокую скорость, чем в остальных трубках, будет наблюдаться различие условий тепло- и массообмена в разных частях аппарата и как результат снижение селективности реакции. Даже в случае увеличения количества циркуляционных труб протекающие в аппарате процессы не будут стабильны, т.к. и циркуляционные, и барботажные трубки выступают за трубную решетку, что приведет к накоплению газовой фазы в нижней части аппарата.

Также известен кожухотрубный газлифтный аппарат, раскрытый в SU 199087 (опубл. 01.01.1967), включающий верхнюю камеру и нижнюю камеру с рубашками, трубными решетками и проходящими через них циркуляционными трубами и барботажными трубами, концы которых в верхней камере расположены на разном уровне, штуцер для ввода жидкой фазы и штуцер для ввода газовой фазы. При подаче газа под трубной решеткой образуется газовый слой, из которого газ через отверстия поступает в барботажные трубы. Вследствие разности плотностей жидкой фазы в циркуляционных трубах и газожидкостной смеси в барботажных трубах происходит интенсивная циркуляция фаз: газожидкостная смесь по барботажным трубам движется вверх, а жидкая фаза по циркуляционным трубам - вниз. В верхней камере благодаря расположению концов труб на разном уровне происходит расслоение жидкой фазы в зависимости от удельного веса компонентов. Однако в SU 199087 отсутствует информация по стабильности циркуляции потоков. Влияние величины выступов трубок над верхней трубной решеткой аппарата на циркуляцию жидкости не подтверждается в описании данного технического решения конкретными примерами. Кроме того, возможно образование взрывоопасных газовых смесей в этом пространстве.

Таким образом, в настоящее время из уровня техники не известен аппарат, позволяющий проводить газожидкостные процессы, сопровождающиеся высоким тепловыми эффектами, образованием кристаллических осадков, высокомолекулярных и/или высоковязких соединений или сопровождающиеся образованием взрывоопасных газов, с высокой эффективностью, в частности с высокой селективностью и высокими выходами целевого продукта в случае, когда процесс представляет собой химическую реакцию.

Раскрытие сущности изобретения

Задачей настоящего изобретения является разработка барботажного кожухотрубного газлифтного аппарата для проведения газожидкостных процессов, характеризующегося стабильностью и равномерностью тепло- и массообмена по всему объему аппарата, а также устойчивостью его работы.

Технический результат заключается в разработке барботажного кожухотрубного газлифтного аппарата, обеспечивающего уменьшение дисперсии времени пребывания жидкости в реакционной зоне, повышение гидродинамической эффективности, а также повышение селективности проводимых в аппарате процессов (в том числе и химических реакций).

Техническим результатом заявляемого изобретения также является разработка барботажного кожух-

хотрубного газлифтного аппарата, позволяющего проводить процессы со значительными тепловыми эффектами, а также процессы, сопровождающиеся образованием твердого осадка, высокомолекулярных и/или высоковязких соединений, в том числе смол и полимеров, а также проводить процессы, сопровождающиеся кристаллизацией одного из компонентов реакционной смеси.

Кроме того, технический результат заключается в уменьшении вероятности образования взрывоопасных смесей газа и паров жидкости за счет уменьшения в аппарате объема газового пространства, не взаимодействующего с жидкой фазой.

Дополнительный технический результат заключается в отсутствии в аппарате нерабочих зон, занимаемых газом.

Дополнительным техническим результатом также является увеличение производительности аппарата за счет увеличения объемной эффективности работы аппарата и увеличения реакционной зоны.

В рамках настоящего изобретения стабильность тепло- и массообмена в аппарате трактуется как постоянство значений параметров (состав, температура, скорость потока и т.д.) для каждой точки потока во времени.

Устойчивость работы аппарата трактуется как режим работы, параметры которого возвращаются в исходное состояние после устранения возмущения.

При этом дисперсия времени пребывания жидкости в реакционной зоне определяется как отклонение значения времени пребывания реальных потоков от расчетного значения, а гидродинамическая эффективность определяется как приближение характеристик реального аппарата к аппарату с идеальным вытеснением.

В рамках настоящего изобретения определение "по существу" означает отклонение в допустимом диапазоне погрешностей для конкретного значения, определенного специалистом в данной области техники.

Поставленная задача и технический результат достигаются за счет использования аппарата, состоящего из одной или нескольких вертикальных кожухотрубных секций, представляющих собой корпус с устройствами ввода реагентов и ввода продуктов реакции, ввода и вывода теплоносителя, в верхней и нижней части которого посредством трубных решеток закреплены две группы трубок, при этом одна группа трубок выступает за пределы нижней трубной решетки, а вторая группа трубок выполнена с расположением их концов по существу вровень с нижней трубной решеткой, при этом трубки первой группы распределены по трубной решетке по существу равномерно.

Авторами изобретения неожиданно было обнаружено, что заявляемая конструкция и расположение трубок первой и второй групп поддерживает постоянное направление потоков в трубках, что обеспечивает стабильность и равномерность тепло- и массообмена по всему объему аппарата, а также устойчивость работы аппарата, что позволяет обеспечить заявляемые технические результаты.

Далее приводится подробное описание различных аспектов и вариантов реализации настоящего изобретения.

Трубки первой группы на 10-150 мм, предпочтительно 50-100 мм, выступают за пределы нижней трубной решетки. При превышении длины выступа трубок первой группы относительно нижней трубной решетки менее чем на 10 мм увеличивается вероятность проскока газа по циркуляционному контуру, что нарушает гидродинамику и, как следствие, тепло- и массообмен в аппарате. Удлинение трубок первой группы более чем на 150 мм относительно нижней трубной решетки нецелесообразно, так как это приводит к увеличению геометрических размеров аппарата, а следовательно, увеличению его металлоемкости без улучшения эффективности работы аппарата. Выступающие части трубок первой группы при этом могут быть как одинаковой длины, так и разной длины. Одинаковая длина выступающих частей трубок первой группы не является обязательным условием работы аппарата. Определяющим условием является значение их длины более 10 мм, достаточное для того, чтобы препятствовать попаданию в них газа.

Диаметры трубок первой и второй групп могут быть как одинаковыми, так и различными, однако для увеличения зоны контакта газа и жидкости предпочтительно использовать трубки второй группы большего диаметра, чем трубки первой группы.

Обязательным условием работы аппарата является равномерное распределение трубок первой группы по объему аппарата, т.е. распределение трубок, обеспечивающих выравнивание скоростей движения жидкой фазы по всему объему аппарата и устранение застойных зон.

Соотношение количества трубок первой и второй групп составляет от 1:1,25 до 1:5. Предпочтительно, чтобы в горизонтальном сечении секции к каждой трубке второй группы прилежала как минимум одна трубка первой группы. Более предпочтительно в горизонтальном сечении секции каждая трубка первой группы окружена по периметру трубками второй группы. Данное расположение трубок достигается при соотношении примерно 1:2.

В одном из вариантов изобретения трубки первой группы представляют собой циркуляционные трубки, а трубки второй группы являются барботажными.

Габаритные размеры аппарата, количество кожухотрубных секций, количество труб в секции, а также общее количество труб в аппарате выбирают исходя из требований конкретного применения аппарата.

Устройства ввода реагентов включают в себя устройство для подачи жидкой фазы и устройство для подачи газовой фазы, а устройства вывода продуктов реакции включают в себя устройство для вывода жидкой фазы и устройство для вывода газовой фазы.

Аппарат может быть использован в качестве реактора для проведения различных жидкофазных реакций, например таких, как окисление углеводородов, олигомеризация олефинов, синтез карбоновых кислот, хлорирование этилена, гидроформилирование, а также как аппарат для проведения микробиологических процессов и др.

Способ проведения химических реакций в барботажном кожухотрубном аппарате согласно изобретению включает в себя этапы, на которых

подают жидкую фазу с заполнением всего свободного объема в трубной части аппарата;

подают газовую фазу в нижнюю часть аппарата с обеспечением подъема газа до нижней трубной решетки и его попадания в трубки второй группы таким образом, что трубки второй группы работают в качестве барботажных трубок;

обеспечивают движение жидкости под действием газа вверх по барботажным трубкам;

при достижении верхней части аппарата газожидкостная смесь разделяется;

выводят газовую фазу из аппарата;

выводят меньшую часть жидкой фазы, в то время как большая часть жидкой фазы под действием силы тяжести начинает опускаться вниз по трубкам первой группы, которые работают в качестве циркуляционных трубок.

Другие признаки и преимущества настоящего изобретения будут более очевидны в соответствии с предпочтительными вариантами осуществления настоящего изобретения, которые более подробно описаны со ссылкой на прилагаемые чертежи. Варианты осуществления, приведены для описания настоящего изобретения только в качестве примера и, следовательно, не должны толковаться как ограничивающие технический объем настоящего изобретения.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 иллюстрирует аппарат для проведения экзотермических газожидкостных реакций, описанный в US 5846498.

Фиг. 2 иллюстрирует аппарат для проведения газожидкостных химических и тепломассообменных процессов, описанный в RU 2040940.

Фиг. 3 иллюстрирует газлифтный аппарат, описанный в SU 1212550.

Фиг. 4 иллюстрирует аппарат, описанный в SU 129643.

Фиг. 5 иллюстрирует аппарат, описанный в SU 199087.

Фиг. 6 схематически иллюстрирует конструкцию заявляемого аппарата.

Фиг. 7 схематически иллюстрирует расположение трубок в аппарате по сравнительному примеру 2.

Фиг. 8 схематически иллюстрирует расположение трубок в аппарате по сравнительному примеру 3.

Фиг. 9 схематически иллюстрирует расположение трубок в аппарате по примеру 4.

Фиг. 10 схематически иллюстрирует расположение трубок в аппарате по примеру 5.

Фиг. 11 иллюстрирует секцию аппарата по изобретению.

Фиг. 12 иллюстрирует стеклянный аппарат с трубками одинаковой длины по сравнительному примеру 6.

Осуществление изобретения

Аппарат по изобретению, схематично приведенный на фиг. 6, состоит из одной вертикальной кожухотрубной секции 1 с циркуляционными 3 и барботажными трубками 4, закрепленными в трубной решетке 2. В нижней части аппарата находятся устройства для подачи жидкости 5 и для подачи газа 6. Верхняя часть аппарата снабжена устройством для вывода газовой фазы 7 и устройством для вывода жидкой фазы 8. Межтрубное пространство аппарата оборудовано штуцерами 9 и 10 для циркуляции теплоносителя. Устройство ввода и вывода здесь и далее трактуется как любое известное из уровня техники средство для ввода и вывода потока, например штуцер, форсунка и т.д.

Процесс в заявляемом аппарате осуществляют следующим образом.

1. Жидкая фаза подается через устройство для подачи жидкости 5 и полностью заполняет весь свободный объем в трубной части аппарата.

2. Затем в нижнюю часть аппарата подается газовая фаза через устройство для подачи газа 6.

3. Газ поднимается до трубной решетки 2 и далее попадает в барботажные трубки 3.

4. Жидкость под действием газа начинает двигаться вверх по барботажным трубкам.

5. Достигнув верхней части аппарата, газожидкостная смесь разделяется.

6. Газовая фаза выводится из аппарата через устройство для вывода газа 7.

7. Меньшая часть жидкой фазы выводится через устройство для вывода жидкости 8, а большая часть жидкой фазы под действием силы тяжести начинает опускаться вниз по циркуляционным трубкам 3.

Равномерное распределение циркуляционных труб обеспечивает равную скорость жидкости во всех барботажных трубках и, как следствие, равные условия протекания тепло- и массообменных процессов по всему объему аппарата. Для обеспечения теплообмена в межтрубном пространстве аппарата циркулирует теплоноситель через штуцеры 9 и 10.

Примеры

Пример 1 - сравнительный. Использование аппарата, содержащего трубки одной длины.

Испытания проводились на стальном аппарате, состоящем из вертикальной кожухотрубной секции диаметром 80 мм с 19 трубками длиной 725 мм и диаметром 13×1,4 мм, закрепленными в трубной решетке. В нижней части аппарата находится штуцер подачи жидкости и газа. Верх аппарата снабжен штуцерами вывода газовой и жидкой фаз. Межтрубное пространство аппарата оборудовано штуцерами для циркуляции теплоносителя (см. фиг. 2).

Испытания проводились при атмосферном давлении. В качестве жидкой фазы использовался циклогексан, в качестве газовой - азот. Количество работающих в барботажном режиме трубок определялось визуально по всплывающим пузырькам газа через каждую минуту. Затем производилось усреднение результатов за промежуток времени, равный 30 мин, и делался вывод о режиме и активности работы каждой трубки.

Без удлинения трубок наблюдалось хаотичное чередование циркуляционных и барботажных трубок. Также во время работы циркуляционная трубка могла стать барботажной и наоборот. Кроме того, в разное время количество барботажных трубок было разным. Все это говорит о нестабильности режима течения газожидкостной смеси по времени. Это приводит к локальным скачкам концентрации растворенного газа и температуры, что также наблюдалось визуально. Следует заметить, что в данном аппарате число трубок, по которым не проходит газ, составляет около 60%, что может говорить о том, что в части трубок не осуществляется движение жидкости и образуются застойные зоны.

Пример 2 - сравнительный. Использование аппарата, содержащего одну удлиненную трубку.

Испытания проводились на аппарате, описанном в примере 1, с той разницей, что трубка, расположенная в центре аппарата, выступает вниз за трубную решетку на 50 мм (см. фиг. 7).

Удлинение одной центральной трубки четко определило, что данная трубка является циркуляционной. Однако пропускной способности трубки не достаточно для обеспечения устойчивой циркуляции жидкости по всему объему секции аппарата. При этом часть барботажных трубок переходит в режим хаотической циркуляции жидкости, т.е. работают попеременно и в качестве циркуляционных, и в качестве барботажных трубок, что, так же как и в примере 1, приводит к локальным скачкам концентрации растворенного газа и температуры.

Пример 3 - сравнительный. Использование аппарата, содержащего три удлиненные трубки.

Испытания проводились на аппарате, описанном в примере 1, отличающемся тем, что 3 трубки, расположенные через одну вокруг центральной трубки, выступают вниз за трубную решетку на 50 мм (см. фиг. 8).

Увеличение числа циркуляционных трубок до трех и их распределение по аппарату значительно стабилизировало поток. Все барботажные трубки начали выполнять роль только барботажных трубок. Однако скорость пропускания газа, а следовательно и жидкости, в барботажных трубках значительно отличалась, что приводило к дестабилизации условий тепло- и массообмена в трубном пространстве аппарата.

Пример 4. Использование аппарата, содержащего три циркуляционные трубки, находящиеся около центральной, а три трубки внешнего ряда заглушены.

Испытания проводились на аппарате, описанном в примере 1, отличающемся тем, что 3 трубки, расположенные через одну вокруг центральной трубки, выступают вниз за трубную решетку на 50 мм, а три трубки внешнего ряда заглушены (см. фиг. 9).

При данном распределении циркуляционных трубок обеспечивается стабильная работа секции со средней скоростью циркуляции жидкости по всему объему аппарата (т.е. обеспечивается практически неизменная во времени средняя скорости циркуляции жидкости по всему объему аппарата). Это приводит к равным условиям тепло- и массообмена по всему объему аппарата.

Пример 5. Использование аппарата, содержащего три циркуляционные трубки, находящиеся около центральной, и три циркуляционные трубки внешнего ряда.

Испытания проводились на аппарате, описанном в примере 1, отличающемся тем, что 3 трубки, расположенные через одну вокруг центральной трубки, выступают вниз за трубную решетку на 50 мм (см. фиг. 10).

Увеличение числа циркуляционных трубок до шести приводит к значительному увеличению скорости циркуляции жидкости. При этом структура потоков стабильна, т.е. состав, локальные скорости и физические параметры среды для каждой точки потока в рабочей зоне аппарата практически не изменяются во времени. Это приводит к равным условиям тепло- и массообмена по всему объему аппарата. По сравнению с примером 4 вырастают скорости по жидкой фазе, что увеличивает эффективность теплосъема с единицы поверхности аппарата.

Пример 6 - сравнительный. Опыты по массообмену в стеклянном аппарате, содержащем трубки одной длины.

Испытания аппарата проводились на стеклянном аппарате объемом 2 л, состоящем из вертикальной секции с двумя трубными металлическими решетками диаметром 100 мм с закрепленными в них 19 стеклянными трубками длиной 800 мм и диаметром 10×1,5 мм. Все трубки выполнены не выступающими

ми за трубную решетку. В нижней части аппарата находится штуцер подачи жидкости и газа. Верх аппарата снабжен штуцерами вывода газовой и жидкой фаз (см. фиг. 12).

Испытания проводились при атмосферном давлении. В качестве жидкой фазы использовался водный раствор NaOH, в качестве газовой - углекислый газ. Скорость жидкости задавалась с помощью насоса, концентрация жидкости на выходе измерялась рН-метром. Газ подавали из баллона через расходомер.

Реакция нейтрализации характеризуется высокой скоростью протекания, соответственно лимитирующим фактором проведения процесса является переход углекислого газа в жидкость. На примере реакции нейтрализации угольной кислоты сильной щелочью можно судить об эффективности массообмена между газовой и жидкой фазами в аппарате.

Испытания проводились следующим образом. Аппарат через насос полностью заполняется жидкостью. Затем выставляется требуемый постоянный расход жидкой фазы (200 мл/мин) и начинается подача газа (500 мл/мин). Начинается фиксация значений рН через каждые 2 мин. За выход на стационарный режим принимали время, при котором в течение 10 мин не происходит изменения значения рН на выходе из аппарата.

При вышеуказанных параметрах время выхода на стационарный режим составило 40 мин, стационарное значение рН 10,2. Кроме того, как и в примере 1, наблюдалась картина хаотичного движения двухфазного потока.

Пример 7. Опыты по массообмену в стеклянном аппарате, содержащем три циркуляционные трубки, находящиеся около центральной, и три циркуляционные трубки внешнего ряда.

Испытания аппарата проводились на стеклянном аппарате объемом 2 л, состоящем из вертикальной секции с двумя трубными металлическими решетками диаметром 100 мм с закрепленными в них 19 стеклянными трубками длиной 800 мм и диаметром 10×1,5 мм. Часть трубок выполнены выступающими за нижнюю трубную решетку как в примере 5. В нижней части аппарата находится штуцер подачи жидкости и газа. Верх аппарата снабжен штуцерами вывода газовой и жидкой фаз (см. фиг. 9).

Испытания проводились при атмосферном давлении. В качестве жидкой фазы использовался водный раствор NaOH, в качестве газовой - углекислый газ. Скорость жидкости задавалась с помощью насоса, концентрация жидкости на выходе измерялась рН-метром. Газ подавали из баллона через расходомер.

Испытания проводились следующим образом. Аппарат через насос полностью заполняется жидкостью. Затем выставляется требуемый постоянный расход жидкой фазы (200 мл/мин) и начинается подача газа (500 мл/мин). Начинается фиксация значений рН через каждые 2 мин. За выход на стационарный режим принимали время, при котором в течение 10 мин не происходит изменения значения рН на выходе из аппарата.

При вышеуказанных параметрах время выхода на стационарный режим составило 30 мин, стационарное значение рН 9,4.

Как видно из примеров 6 и 7, в предлагаемом аппарате более эффективно проходят процессы массообмена, так как стационарное значение рН меньше. Уменьшение рН свидетельствует о том, что массообменные процессы (реакции) в системе газ-жидкость проходят быстрее и более полно. Кроме того, наблюдается сокращение времени достижения равновесия на 25%, что говорит об отсутствии застойных зон, которые могут давать заметные скачки концентрации в жидкой фазе, и об однородном поле скоростей в аппарате, которое позволяет осуществлять эффективный перенос массы в жидкой фазе.

Пример 8 - сравнительный. Использование аппарата, содержащего трубки одной длины в качестве реактора для тримеризации этилена.

Испытания проводились на стальном реакторе, состоящем из вертикальной кожухотрубной секции диаметром 80 мм с 19 трубками длиной 725 мм и диаметром 13×1,4 мм, закрепленными в трубной решетке. В нижней части реактора находятся штуцер подачи жидкости и газа. Верх реактора снабжен штуцерами вывода газовой и жидкой фаз. Межтрубное пространство реактора оборудовано штуцерами для циркуляции теплоносителя (см. фиг. 2).

Реакция тримеризации этилена проводилась при давлении 14 бар. В качестве жидкой фазы использовался циклогексан с добавкой гомогенного каталитического комплекса, в качестве газовой - этилен. Концентрация продукта реакции - гексена-1, а также побочных продуктов измерялась с помощью периодического отбора проб на выходе из реактора. Метод аналитического контроля - газовая хроматография.

Концентрация гексена-1 на выходе из реактора колебалась в пределах 6-7 мас.% при селективности 96-97%.

Пример 9. Использование аппарата, содержащего три циркуляционные трубки, находящиеся около центральной, и три циркуляционные трубки внешнего ряда в качестве реактора для тримеризации этилена.

Испытания проводились на аппарате, описанном в примере 8, отличающимся тем, что 3 трубки, расположенные через одну вокруг центральной трубки, выступают вниз за трубную решетку на 50 мм (см. пример 5).

Концентрация гексена-1 на выходе из реактора, также как и в примере 8, колебалась в пределах 6-7 мас.% при селективности 96-97%.

Разница между экспериментами в примерах 8 и 9 практически незаметна вследствие относительно

малого трубного объема реактора, который в данных экспериментах составлял около 60% от общего реакционного объема.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Барботажный кожухотрубный аппарат, содержащий по меньшей мере одну вертикальную кожухотрубную секцию, представляющую собой корпус с устройствами ввода реагентов и вывода продуктов реакции, ввода и вывода теплоносителя, а также первую и вторую группы трубок, закрепленных в верхней и нижней трубных решетках, отличающийся тем, что трубки первой группы выступают за пределы нижней трубной решетки, а трубки второй группы выполнены с расположением их концов по существу вровень с нижней трубной решеткой, при этом трубки первой группы распределены по существу равномерно по трубной решетке.

2. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором аппарат содержит одну кожухотрубную секцию.

3. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором аппарат содержит более одной кожухотрубной секции.

4. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором трубки первой группы выступают на 10-150 мм за пределы нижней трубной решетки.

5. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.4, в котором трубки первой группы выступают на 50-100 мм за пределы нижней трубной решетки.

6. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором соотношение между количеством трубок первой группы и трубок второй группы составляет от 1:1,25 до 1:5.

7. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором в горизонтальном сечении секции каждая трубка первой группы окружена по периметру трубками второй группы.

8. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором в горизонтальном сечении секции к каждой трубке второй группы прилегает как минимум одна трубка первой группы.

9. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором трубки первой группы выполнены как одной, так и разной длины.

10. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором трубки первой группы и трубки второй группы имеют одинаковый диаметр.

11. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором диаметр трубок первой группы больше диаметра трубок второй группы.

12. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором диаметр трубок второй группы больше диаметра трубок первой группы.

13. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, представляющий барботажный кожухотрубный реактор.

14. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором трубки первой группы представляют собой циркуляционные трубки, а трубки второй группы представляют собой барботажные трубки.

15. Барботажный кожухотрубный аппарат по п.1, в котором устройства ввода реагентов включают в себя устройство для подачи жидкой фазы и устройство для подачи газовой фазы, а устройства вывода продуктов реакции включают в себя устройство для вывода жидкой фазы и устройство для вывода газовой фазы.

16. Способ проведения химических реакций в барботажном кожухотрубном аппарате по п.1, при котором

подают жидкую фазу с заполнением всего свободного объема в трубной части аппарата;

подают газовую фазу в нижнюю часть аппарата с обеспечением подъема газа до нижней трубной решетки и его попадания в трубки второй группы таким образом, что трубки второй группы работают в качестве барботажных трубок;

обеспечивают движение жидкости под действием газа вверх по барботажным трубкам;

при достижении верхней части аппарата газожидкостная смесь разделяется;

выводят газовую фазу из аппарата;

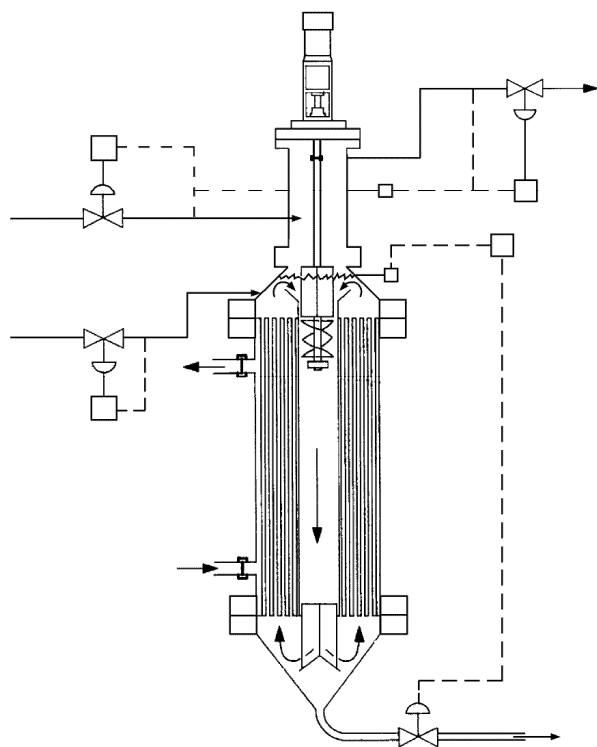
выводят меньшую часть жидкой фазы, в то время как большая часть жидкой фазы под действием силы тяжести начинает опускаться вниз по трубкам первой группы, которые работают в качестве циркуляционных трубок.

17. Применение барботажного кожухотрубного аппарата по п.1 в качестве аппарата для проведения химических реакций.

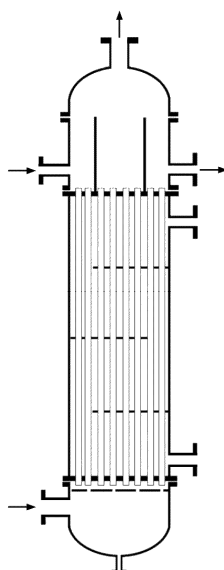
18. Применение по п.17, где химической реакцией является реакция олигомеризации этилена.

19. Применение по п.17, где трубки первой группы работают в качестве циркуляционных трубок, а трубки второй группы работают в качестве барботажных трубок.

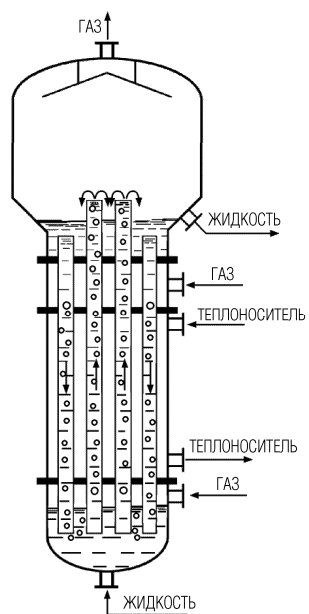
20. Применение по п.18, где трубки первой группы работают в качестве циркуляционных трубок, а трубки второй группы работают в качестве барботажных трубок.



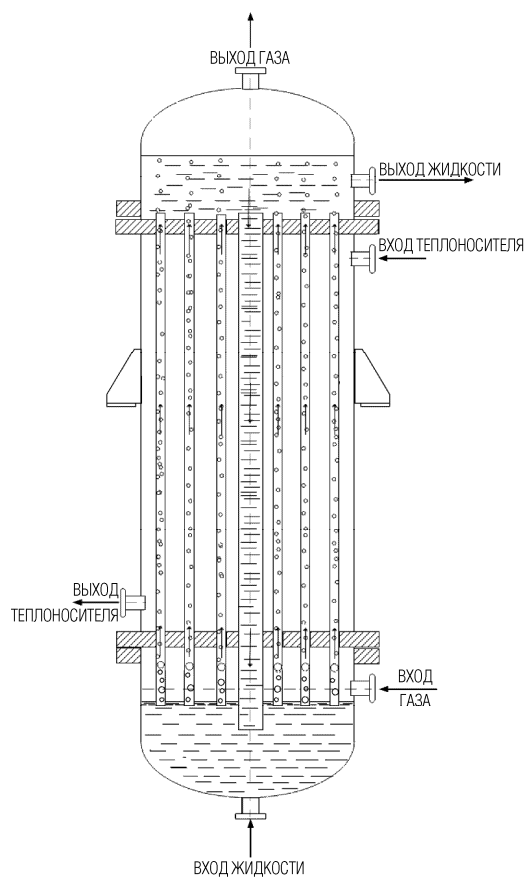
Фиг. 1



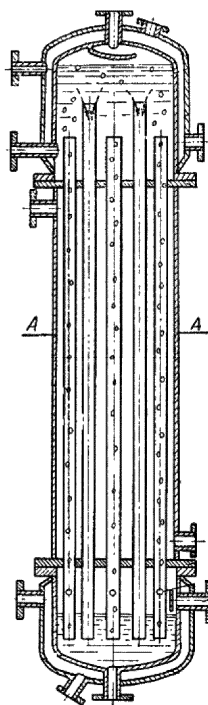
Фиг. 2



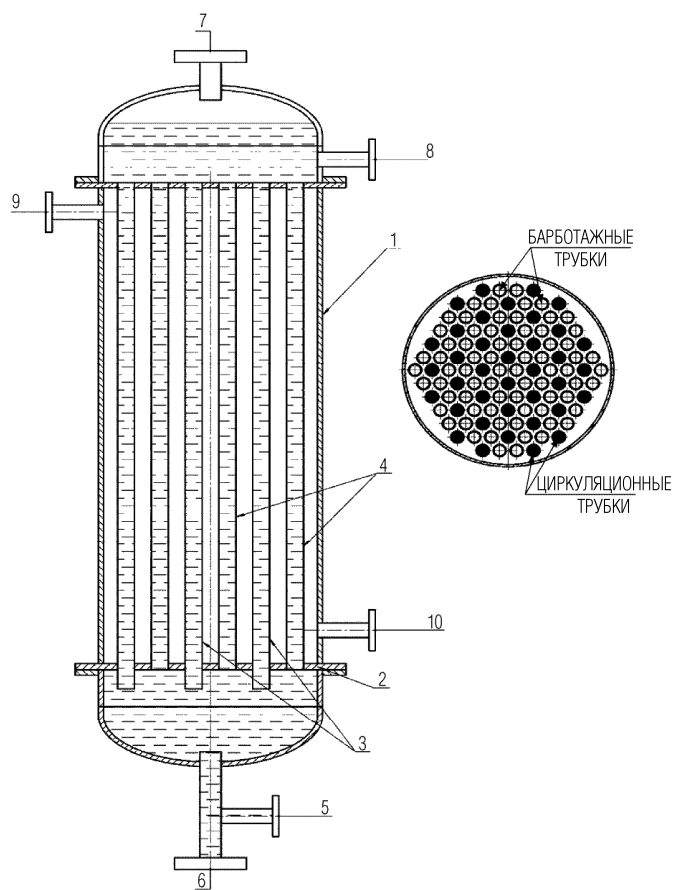
Фиг. 3



Фиг. 4



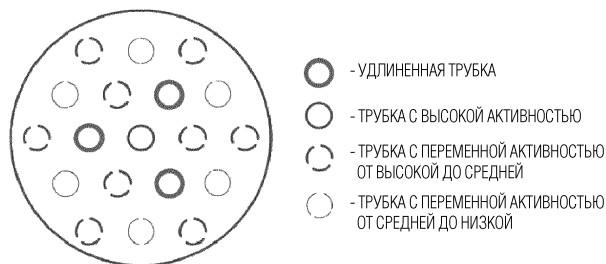
Фиг. 5



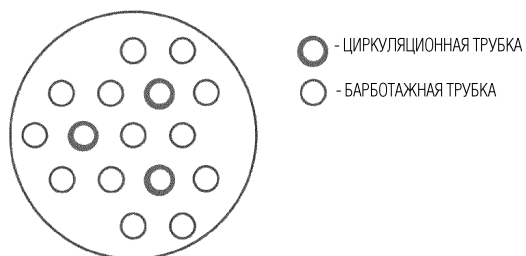
Фиг. 6



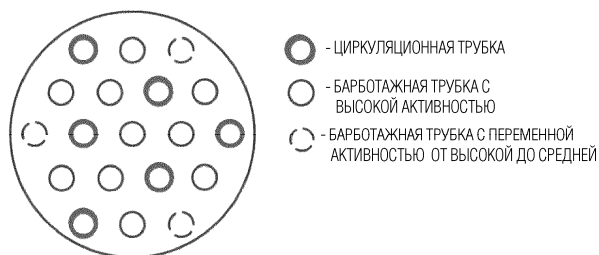
Фиг. 7



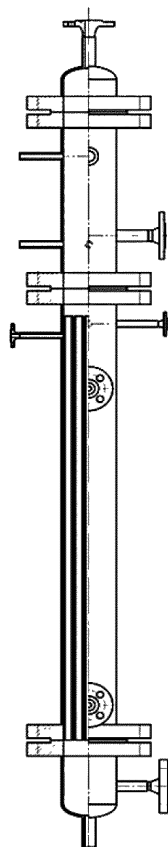
Фиг. 8



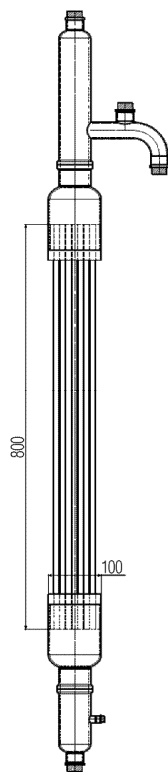
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

