

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202392702 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.12.18

(51) Int. Cl. C07C 273/04 (2006.01)
B01J 19/00 (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)
B01F 25/431 (2022.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.04.28

(54) ХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР С ВНУТРЕННИМИ СТАТИЧЕСКИМИ СМЕСИТЕЛЯМИ

(31) 21170983.7

(32) 2021.04.28

(33) EP

(86) PCT/NL2022/050230

(87) WO 2022/231428 2022.11.03

(71) Заявитель:
СТАМИКАРБОН Б.В. (NL)

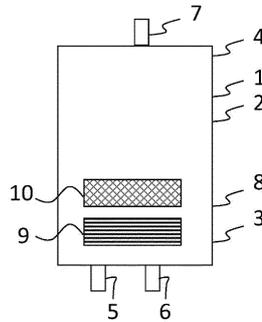
(72) Изобретатель:

Пустйенс Ронни Альберт Матийс, Ван
Ден Тиллаарт Йохан Альберт Арно
(NL)

(74) Представитель:

Нилова М.И. (RU)

(57) Варианты осуществления изобретения относятся к химическому реактору, содержащему зону смешивания, содержащую первый статический смеситель и второй статический смеситель, оба из которых расположены в корпусе реактора, при этом второй статический смеситель расположен дальше от указанного первого впускного отверстия, чем указанный первый статический смеситель, при этом второй статический смеситель приспособлен для более тщательного смешивания текучих сред в реакционной смеси, чем первый статический смеситель.



A1

202392702

202392702

A1

ХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР С ВНУТРЕННИМИ СТАТИЧЕСКИМИ СМЕСИТЕЛЯМИ

Область техники

Изобретение относится к химическому реактору, например к реактору синтеза мочевины, а также к установке по производству мочевины, содержащей реактор синтеза мочевины, и к способу получения мочевины, в котором применяется реактор синтеза мочевины.

Уровень техники

Химический реактор по изобретению содержит корпус для удержания текучих сред, первое впускное отверстие для первого потока текучей среды и отдельное второе впускное отверстие для второго потока текучей среды. И первое впускное отверстие, и второе впускное отверстие расположены в первой секции корпуса, причем первая секция представляет собой, например, нижнюю секцию. Первое впускное отверстие и второе впускное отверстие расположены, например, параллельно в указанной первой секции.

Во многих химических процессах существует необходимость смешивания первой и второй текучих сред в указанной первой секции химического реактора. Например, первая текучая среда содержит первый реагент, и вторая текучая среда содержит второй реагент, и первый, и второй реагенты должны взаимодействовать друг с другом в химическом реакторе. Первый и второй реагенты отличаются друг от друга. Первая и вторая текучие среды являются отличными друг от друга и имеют по меньшей мере разный химический состав.

Примеры химических реакторов, имеющих первое и второе впускные отверстия, включают реакторы синтеза мочевины, применяемые в определенных типах способов получения мочевины.

Химический реактор по изобретению представляет собой, например, реактор синтеза мочевины установки по производству мочевины для синтеза мочевины из исходного NH_3 и исходного CO_2 . В типичном способе получения мочевины по аспекту изобретения реакция образования мочевины включает экзотермическую реакцию NH_3 и CO_2 с образованием карбамата аммония (карбамата) и эндотермическую дегидратацию карбамата с образованием воды и мочевины в секции синтеза под высоким давлением, содержащей реакционную зону. Реакция конденсации карбамата является экзотермической и протекает быстро при давлении выше 100 Бар и температуре выше 150

°С. Карбамат аммония является чрезвычайно коррозионноактивным при рабочей температуре реактора, обычно превышающей 140 °С. Кроме того, смешивание CO₂ и NH₃ при образовании карбамата является сильно экзотермическим и может привести к образованию горячих точек в нижней секции реактора синтеза мочевины и последующей
5 коррозии реактора и внутренних частей реактора.

Полная реакция дает в качестве выходящего из реактора потока поток синтеза мочевины, содержащий жидкую фазу, содержащую по меньшей мере мочевины, воду, карбамат и аммиак. Выходящий из реактора поток отводят из выпускного отверстия реактора в способах получения мочевины по изобретению.

10 В типичном способе получения мочевины по изобретению поток синтеза мочевины очищают диссоциацией карбамата на NH₃ и CO₂ и разделением газа и жидкости с получением раствора мочевины и потока газа. Очистку мочевины осуществляют в одной или большем количестве расположенных ниже по потоку технологических установках, состоящих, например, из секции синтеза под высоким давлением установки мочевины
15 (например, в отпарной колонне высокого давления) и/или, например, в секции извлечения, работающей при среднем или низком давлении, установки мочевины по изобретению.

В вариантах осуществления, в которых химический реактор по изобретению представляет собой реактор синтеза мочевины, реактор синтеза мочевины можно использовать с многочисленными типами секций синтеза под высоким давлением и
20 секций извлечения установок по производству мочевины.

Типичный способ получения мочевины с использованием отпарной колонны высокого давления изображен на Фиг. 25 Энциклопедии Ульманна, глава «Мочевина», 2010 г., в которой изображена технологическая схема «процесса самоотпаривания Снам Проджетти». На этой технологической схеме реактор принимает снизу поток исходного
25 CO₂ и отдельный исходный поток, по существу состоящий из исходного NH₃ и рециркуляционного раствора карбамата. Эти исходные потоки проиллюстрированы как две отдельные линии потока, ведущие в реактор.

В US 2018/0280921A1, выданный Saipem SpA, на Фиг. 1 изображен типичный реактора мочевины с двумя питающими трубопроводами в нижней части для исходного
30 NH₃/карбамата и исходного CO₂, соответственно. В US '921 упоминается, что этот тип реактора мочевины имеет определенные недостатки: самый важный – отсутствие равномерного распределения реагентов по всему поперечному сечению реактора. В US '921 предложено (Фиг. 2, Фиг. 3) применение кольцевого перфорированного

трубчатого распределителя 15 для исходного CO_2 и L-образного трубчатого распределителя 16 для исходного NH_3 с направленным книзу перфорированным трубчатым концом 26.

В вышеупомянутом US 2018/0280921A1 указано, что CO_2 , который из-за своей
5 плотности представляет собой легкую фазу в реакции синтеза мочевины, имеет тенденцию образовывать вертикальный столб над соответствующим впускным отверстием, таким образом сильно ограничивая кинетику реакции, на которую вместо этого оказывало бы благоприятное влияние равномерное распределение CO_2 в небольших
10 пузырьках по всему поперечному сечению реактора, и то, что даже распределение (жидкой) тяжелой фазы, образованной аммиаком и карбаматом аммония, не является вполне удовлетворительным в существующих реакторах мочевины.

В EP2596859B1 описан газожидкостный реактор, который может быть использован в качестве реактора синтеза мочевины и который содержит вертикальный корпус с впускными патрубками для реагентов и выпускными патрубками для продуктов реакции,
15 смеситель с коаксиальной трубкой и вихревую камеру, расположенную в нижней части корпуса, в котором осевой выпускной патрубков смесителя снабжен диффузором, показанным в виде трубчатой части с расширением.

Реактор синтеза мочевины, снабженный перфорированными реакторными тарелками описан, например, в US6165315, выданном Jonckers et al.

20 Ссылку можно сделать также на типичный способ полной рециркуляции без отпарной колонны высокого давления, как изображено на Фиг. 12 Энциклопедии Ульманна, Мочевина, 2010. Исходный CO_2 сжимают, исходный NH_3 подают отдельно, оба исходных материала объединяют в установке, и объединенный поток подают из этой установки на впускное отверстие в нижней части реактора. Рециркуляционный раствор
25 карбамата дополнительно объединяют в указанной установке с образованием объединенного потока. Реактор имеет только одно впускное отверстие для исходного материала.

Остается потребность в химическом реакторе, содержащем первое впускное отверстие для потока первой текучей среды и второе впускное отверстие для потока
30 второй текучей среды, причем конфигурация реактора обеспечивает хорошее смешивание первой и второй текучих сред внутри химического реактора.

Конкретной задачей некоторых вариантов осуществления, описанных в настоящем документе, является создание такого химического реактора, в котором реактор

представляет собой вертикальный реактор, в котором и первое впускное отверстие, и второе впускное отверстие расположены в нижней секции реактора, и реактор содержит выпускное отверстие для выходящего из реактора потока, отводимого из верхней части реактора. Реактор содержит зону смешивания в указанной нижней секции, обеспечивающую хорошее смешивание текучих сред из указанных первого и второго впускных отверстий.

Дополнительной конкретной задачей для некоторых вариантов осуществления, описанных в настоящем документе, является создание такого химического реактора, который содержит зону смешивания, содержащую внутренние смесительные элементы, при этом внутренние смесительные элементы обладают хорошей коррозионной стойкостью и обеспечивают хорошее смешивание текучих сред из указанных впускных отверстий.

Дополнительной конкретной задачей для некоторых вариантов осуществления, описанных в настоящем документе, является создание реактора синтеза мочевины, имеющего по меньшей мере два впускных отверстия в нижней части и содержащего зону смешивания, обеспечивающую хорошее смешивание текучих сред из указанных впускных отверстий. Внутренние части реактора синтеза мочевины желательны являются высоко коррозионностойкими.

20 Сущность изобретения

Изобретение в первом аспекте относится к химическому реактору, содержащему корпус для удержания реакционной смеси, первую секцию и вторую секцию в указанном корпусе, первое впускное отверстие для потока первой текучей среды и второе впускное отверстие для потока второй текучей среды, при этом оба впускных отверстия расположены в указанной первой секции, причем реактор дополнительно содержит выпускное отверстие для выходящего из реактора потока, отводимого из указанной второй секции, и зону смешивания в указанной первой секции реактора, приспособленную для смешивания указанных потоков первой и второй текучих сред, при этом зона смешивания содержит первый статический смеситель и второй статический смеситель, оба из которых расположены в указанном корпусе, при этом второй статический смеситель расположен дальше от указанного первого впускного отверстия, чем указанный первый статический смеситель, при этом второй статический смеситель предпочтительно приспособлен для более тщательного смешивания текучих сред в

реакционной смеси, чем первый статический смеситель. Химический реактор представляет собой, например, реактор синтеза мочевины. Предпочтения и особенности, описанные выше и ниже в отношении химического реактора, применимы также и к реактору синтеза мочевины.

5 В дополнительном аспекте изобретение относится к установке по производству мочевины, содержащей секцию синтеза под высоким давлением, содержащую впускное отверстие для исходного NH_3 , впускное отверстие для исходного CO_2 , и химический реактор по изобретению, содержащий указанные первый и второй статические смесители в качестве реактора синтеза мочевины, при этом указанное выпускное отверстие для
10 потока синтеза мочевины соединено с секцией диссоциации карбамата, содержащей теплообменник и/или расширительный клапан, предпочтительно при этом секция диссоциации карбамата содержит вертикальный кожухотрубный теплообменник с падающей пленкой, выполненный с возможностью приема раствора мочевины у верхнего впускного отверстия трубопровода.

15 В следующем аспекте изобретение относится к способу получения мочевины, включающему взаимодействие исходного потока, содержащего NH_3 , и исходного потока, содержащего CO_2 , с образованием карбамата аммония и дегидратацию карбамата аммония с образованием мочевины и воды в условиях образования мочевины в химическом реакторе по изобретению, содержащем указанные первый и второй статические смесители
20 в качестве реактора синтеза мочевины.

Предпочтения и особенности, описанные для реактора синтеза мочевины, применимы также к реактору, применяемому в установке по производству мочевины, и к способу по изобретению.

Изобретение также относится к способу смешивания, осуществляемому в
25 химическом реакторе по изобретению.

Краткое описание графических материалов

На Фиг. 1 схематически изображен типичный химический реактор по изобретению.

На Фиг. 2 схематически изображена нижняя секция типичного химического реактора по
30 изобретению.

На Фиг. 2А схематически изображены дополнительные детали нижней секции.

На Фиг. 3 схематически изображены детали типичного второго статического смесителя, применяемого в изобретении.

На Фиг. 4 схематически изображена типичная технологическая схема способа получения мочевины по изобретению.

Любые варианты осуществления, проиллюстрированные на фигурах, являются только примерами и не ограничивают изобретение.

5

Подробное описание

Варианты осуществления настоящего изобретения основаны на разумном понимании того, что расположение зоны смешивания, содержащей первый и второй статические смесители внутри корпуса реактора, обеспечивает эффективное и тщательное
10 смешивание потока первой текучей среды из первого впускного отверстия с потоком второй текучей среды из второго впускного отверстия.

Первый и второй смесители имеют простую конструкцию с хорошей механической прочностью и коррозионной стойкостью, а также эффективным смешиванием текучих сред из первого и второго впускных отверстий.

15 Химический реактор по изобретению содержит корпус для удержания реакционной смеси. Химический реактор также может быть идентифицирован как смесительная установка, например, если установка используется в химически неактивных процессах смешивания текучих сред. Корпус содержит, например, устойчивую к давлению стенку, выполненную с возможностью выдерживать давление, например, выше 100 Бар внутри
20 корпуса. Реактор также можно описать как содержащий емкость, содержащую стенку и пространство емкости для удержания реакционной смеси. Стенка, например, выполнена с возможностью выдерживать внутреннее давление емкости выше 100 Бар.

Реактор содержит, например, цилиндрический корпус, имеющий в некоторых вариантах осуществления диаметр, например, по меньшей мере 1,0 м, например от 1,0 до
25 4,5 м, и/или длину, например, по меньшей мере 10 м или, например, по меньшей мере 20 м, например, включительно до 40 м. В других вариантах осуществления реактор может иметь другие размеры. Упомянутые размеры являются предпочтительными в вариантах осуществления, в которых химический реактор представляет собой реактор синтеза мочевины. Реактор расположен предпочтительно вертикально, причем его длина
30 направлена вертикально.

В некоторых вариантах осуществления реактор не содержит пучка труб. В некоторых вариантах осуществления реактор содержит пучок труб, например, для охлаждающей текучей среды в трубках. Пучок, например, занимает более 10-50 % длины

реактора. Например, текучую среду на стороне корпуса охлаждают, и тепло передается со стороны корпуса охлаждающей воде на стороне труб для образования пара в трубах.

5 Реактор может содержать, например, тарелки. Реактор может также содержать одну или большее количество перегородок. В некоторых вариантах осуществления первая секция (например, нижняя секция) не содержит тарелок между вторым статическим смесителем и первым и вторым впускными отверстиями.

10 Реактор содержит первую секцию и вторую секцию в указанном корпусе, причем первая и вторая секции расположены предпочтительно на противоположных концах указанного корпуса. Например, реактор представляет собой вертикальный реактор, и первая секция представляет собой нижнюю секцию, а вторая секция представляет собой верхнюю секцию, или первая секция представляет собой верхнюю секцию, а вторая секция представляет собой нижнюю секцию. В конкретном варианте осуществления реактор представляет собой реактор синтеза мочевины, причем реактор синтеза мочевины представляет собой вертикальный реактор, а первая секция представляет собой нижнюю секцию реактора, и реактор приспособлен для отвода выходящего из реактора потока из 15 верхней части реактора. Первая секция расположена выше по потоку от второй секции. Первая секция занимает, например, менее 30 % или включительно до 20 %, или включительно до 10% длины реактора, например, от 3 до 10 % длины реактора, и содержит, например, первый и второй статические смесители, а также первое и второе 20 впускные отверстия. Например, и первый, и второй статические смесители расположены на расстоянии от первого и второго впускных отверстий, которое составляет менее 30 %, менее 20 % или включительно до 10 % длины реактора, например, от 3 до 10 %, предпочтительно от 5 до 7 % длины реактора. Например, объем первой секции составляет от 3 до 10 %, предпочтительно от 5 до 7 % объема реактора.

25 Первая секция содержит первое впускное отверстие для потока первой текучей среды и второе впускное отверстие для потока второй текучей среды. Первое и второе впускные отверстия отделены друг от друга и расположены на расстоянии друг от друга. Например, и первое впускное отверстие, и второе впускное отверстие расположены в нижней части корпуса. И первое впускное отверстие, и второе впускное отверстие 30 расположены в указанной первой секции.

Предпочтительно первая и вторая секции независимо, предпочтительно обе, занимают все поперечное сечение реактора перпендикулярно длине реактора.

Первое и второе впускные отверстия соединены с разными линиями питания. Первое и второе впускные отверстия предназначены для подачи потоков первой и второй текучих сред в объем реактора.

5 Первое и второе впускные отверстия предпочтительно независимо друг от друга не выступают из корпуса (стенки емкости) в объем реактора. Это может успешно способствовать улучшению смешивания за счет исключения застойных зон реакционной смеси, которые могут образовываться вокруг выступающих труб. Это также может быть полезно для предотвращения коррозии в таких зонах реактора синтеза мочевины.

10 Реактор необязательно содержит одно или большее количество дополнительных впускных отверстий, расположенных в указанной первой секции, при этом первая секция представляет собой, например, нижнюю секцию.

Реактор дополнительно содержит выпускное отверстие для выходящего из реактора потока, отводимого из указанной второй секции. Выпускное отверстие, например, предназначено для отвода текучей реакционной смеси из указанной второй 15 секции, например, из верхней секции реактора.

Выходящий из реактора поток, например, отводят из указанной верхней секции, используя, например, сливную вертикальную трубу или, например, выпускное отверстие, расположенное в указанной верхней секции. Реактор может содержать, например, одно или большее количество дополнительных выпускных отверстий. В некоторых вариантах 20 осуществления верхняя секция химического реактора предназначена для разделения газа и жидкости, и реактор содержит первое выпускное отверстие для текучей среды, например, раствора для синтеза мочевины, и второе выпускное отверстие для газа. Например, первое выпускное отверстие для текучей среды соединено со сливной вертикальной трубой. Выпускное отверстие для сливной вертикальной трубы, например, 25 соединено с отпарной колонной ВД или секцией извлечения, в случае реактора синтеза мочевины.

Реактор содержит зону смешивания в указанной первой секции реактора. Зона смешивания приспособлена для смешивания первой и второй текучих сред. Зона смешивания, например, приспособлена для смешивания текучих сред из первого и 30 второго впускных отверстий друг с другом. Зона смешивания содержит первый статический смеситель и второй статический смеситель. И первый, и второй статический смеситель расположены в указанном корпусе. Таким образом, и первый, и второй статический смеситель расположены внутри реактора, в частности внутри емкости.

Первый и второй статические смесители являются отдельными и отличными элементами и расположены на расстоянии друг от друга. Предпочтительно реактор содержит пространство между первым и вторым статическими смесителями. Предпочтительно это пространство обеспечивает беспрепятственное течение текучей жидкости от первого ко
5 второму статическому смесителю. И первый, и второй статический смеситель, например, прикреплены к корпусу, например, с использованием отдельных соединительных элементов. Первый и второй статические смесители могут, например, быть разобраны по отдельности и удалены из реактора, например, через люк реактора. В некоторых вариантах осуществления первый и второй статические смесители прикреплены друг к
10 другу и, необязательно, также к необязательно используемому газораспределителю, с образованием смесительной установки. Эта смесительная установка, например, соединена с корпусом.

Второй статический смеситель расположен дальше от указанного первого впускного отверстия, чем указанный первый статический смеситель. Таким образом,
15 расстояние между вторым статическим смесителем и первым впускным отверстием больше, чем расстояние между первым статическим смесителем и первым впускным отверстием. Кроме того, предпочтительно расстояние между вторым статическим смесителем и вторым впускным отверстием больше, чем расстояние между первым статическим смесителем и вторым впускным отверстием. Второй статический смеситель
20 расположен ниже по потоку от первого статического смесителя относительно течения первой и второй текучих сред. В некоторых вариантах осуществления реактор представляет собой вертикальный реактор, впускные отверстия расположены в нижней секции, и второй статический смеситель расположен над первым статическим смесителем.

Первый и второй статические смесители имеют разную конструкцию.

25 Второй статический смеситель предпочтительно приспособлен для более тщательного смешивания текучих сред, которые составляют реакционную смесь, чем первый статический смеситель. Второй статический смеситель, например, приспособлен для обеспечения более однородной текучей среды на расположенном ниже по потоку конце второго статического смесителя, чем первый статический смеситель, когда
30 указанные смесители получают одну и ту же неоднородную текучую среду у впускного отверстия.

И первый, и второй статический смеситель, в частности, приспособлены для смешивания по меньшей мере текучих сред, поступающих в реактор из первого и второго

впускных отверстий, путем создания турбулентности. Предпочтительно потоки первой и второй текучих сред могут течь из первого и второго впускных отверстий в первый статический смеситель по существу беспрепятственно.

Предпочтительно корпус представляет собой цилиндрический корпус.

5 Предпочтительно корпус представляет собой вертикальный корпус. Предпочтительно корпус представляет собой цилиндрический корпус высокого давления, который, например, снабжен нижним и верхним запорными элементами. Корпус, например, снабжен полукруглыми крышками или, например, плоскими пластинами в нижней части и/или в верхней части.

10 Корпус, например, содержит несущую стенку из углеродистой стали и коррозионностойкую внутреннюю стенку, например, облицовку или наплавку. Внутренняя поверхность, например, облицовка, изготовлена например из дуплексной нержавеющей стали, особенно в случае реактора синтеза мочевины.

15 Зона смешивания реактора по изобретению содержит первый статический смеситель и второй статический смеситель, оба из которых расположены в указанном корпусе, в частности оба из которых содержатся в указанной первой секции. Статические смесители также известны как «неподвижные смесители».

20 Второй статический смеситель отстоит от первого смесителя на расстояние в продольном направлении реактора, которое предпочтительно составляет менее 5 % длины реактора и/или составляет, например, по меньшей мере 0,10 % длины реактора или по меньшей мере 10 см. В настоящем документе продольное направление относится к направлению вдоль длины реактора. Например, реактор представляет собой вертикальный реактор, а продольное направление представляет собой вертикальное направление. В некоторых вариантах осуществления реактор содержит цилиндрический корпус, 25 имеющий длину и диаметр, при этом продольное направление совпадает с направлением длины корпуса, независимо от ориентации реактора. Предпочтительно впускные отверстия и выпускное(ые) отверстие(я) находятся на противоположных концах реактора в продольном направлении, а направление от впускных отверстий к выпускному(ым) отверстию(ям) является направлением вдоль длины.

30 Второй статический смеситель, например, расположен ниже по потоку от первого статического смесителя относительно направления течения текучих сред в реакторе.

Второй статический смеситель предпочтительно приспособлен для более тщательного смешивания текучих сред в реакционной смеси, чем первый статический смеситель.

5 При таком расположении двух статических смесителей внутри реактора различные текучие среды будут смешиваться быстро и эффективно в небольшом объеме, тем самым повышая эффективность реактора. Кроме того, за счет смешивания улучшается распределение тепла, что предотвращает или позволяет избежать проблем с коррозией, особенно в реакторах синтеза мочевины.

10 Предпочтительное более тщательное смешивание в первом и втором статических смесителях может быть выражено, например, посредством характеристического параметра смешивания (M_c):

$$\frac{D}{d} = M_c$$

где D представляет собой диаметр реактора; где d представляет собой характеристический диаметр смесительного элемента. В некоторых предпочтительных вариантах 15 осуществления, которые не ограничивают изобретение, M_c для первого статического смесителя находится в диапазоне от 1 до 50, а M_c для второго статического смесителя находится в диапазоне от 50 до 1000, например от 55 до 1000 и/или предпочтительно по меньшей мере в 2 раза больше, чем M_c первого статического смесителя. Характеристический диаметр смесительного элемента относится к характеристическому 20 размеру каналов смесительного элемента. Каналы смесительного элемента представляют собой каналы, предусмотренные в смесительном элементе для протекания текучих сред.

На **Фиг. 1** схематически изображен типичный химический реактор по изобретению. Химический реактор (1) содержит вертикальный корпус (2) для удержания реакционной смеси, и первую секцию (3) и вторую секцию (4) в указанном корпусе. 25 Вторая секция (4) расположена ниже по потоку от первой секции (3). В этом примере первая секция (3) представляет собой нижнюю секцию, и вторая секция (4) представляет собой верхнюю секцию, и текучие среды текут снизу вверх при работе реактора. В альтернативном варианте осуществления реактор может работать при течении текучих сред сверху вниз или необязательно как горизонтальный реактор.

30 Реактор дополнительно содержит первое впускное отверстие (5) для потока первой текучей среды и отдельное второе впускное отверстие (6) для отдельного потока второй текучей среды. Оба впускных отверстия расположены в указанной нижней секции. Реактор дополнительно содержит выпускное отверстие (7) для выходящего из реактора

потока, отводимого из второй секции, например верхней секции. Реактор также содержит зону смешивания (8) в первой секции (3) реактора. Зона смешивания (8) содержит первый статический смеситель (9) и второй статический смеситель (10). Оба статических смесителя расположены внутри корпуса, т.е. внутри реакционной емкости. Оба статических смесителя расположены в первой секции (3). Второй статический смеситель расположен ниже по потоку от первого статического смесителя. В этом примере второй статический смеситель расположен над первым статическим смесителем. Первый и второй статические смесители находятся на расстоянии друг от друга. Второй статический смеситель приспособлен для более тщательного смешивания жидкостей в реакционной смеси, чем первый статический смеситель.

Обычно в химическом реакторе по изобретению предпочтительно и первый статический смеситель, и второй статический смеситель содержат смесительные элементы и каналы, при этом каналы выполнены с возможностью обеспечения возможности протекания реакционной смеси через корпус. Предпочтительно каналы, содержащиеся во втором статическом смесителе, уже, чем каналы, содержащиеся в первом статическом смесителе. Каналы по меньшей мере частично размежеваны смесительными элементами.

Предпочтительно каналы первого статического смесителя допускают прохождение сферы (сплошной сферы и/или прохождение без деформации), которая больше максимальной сферы, которая может пройти (без деформации) через каналы второго статического смесителя, без соприкосновения с указанным смесителем. Например, каналы второго статического смесителя не допускают прохождения сфер, имеющих диаметр, равный определенному предельному диаметру или превышающий его, а каналы первого позволяют проходить таким сферам, имеющим этот предельный диаметр. Это дополнительно проиллюстрировано на Фиг. 2 ниже.

Первый статический смеситель содержит по меньшей мере первый смесительный элемент, например, первую перегородку, расположенную поперек баллистической траектории (прямого пути) от каждого из впускных отверстий в первой секции корпуса вдоль продольного направления внутри корпуса по направлению ко второй секции. Первый смесительный элемент образует поверхность соударения, которая проходит в поперечном направлении поперек прямого пути и по направлению к проему. Поверхность соударения обычно не перфорирована и отклоняет первую и вторую текучую среду вбок, т.е. радиально к проему. Расстояние в боковом направлении между прямым путем и

проемом составляет, например, по меньшей мере 10 % или по меньшей мере 20 % диаметра корпуса и/или по меньшей мере 20 см.

Проем образует проточный канал, позволяющий течению проходить вокруг первого смесительного элемента. Предпочтительно первый смесительный элемент
5 представляет собой смесительный элемент, который находится ближе всего к впускным отверстиям.

Первый смесительный элемент содержит, например, пластину, перегородку, которая выступает перпендикулярно (горизонтально в случае вертикально ориентированного реактора) по направлению к общему направлению течения в корпусе.

10 Таким образом, при использовании, первый смесительный элемент может преимущественно вызывать первое, первоначальное смешивание исходных материалов из соответствующих впускных отверстий путем столкновения исходных материалов и отклонения полученной смеси в боковом направлении.

В наиболее предпочтительном варианте осуществления первый статический
15 смеситель содержит второй смесительный элемент, например, вторую перегородку, расположенную ниже по потоку от первого смесительного элемента. Второй смесительный элемент расположен поперек баллистической траектории, прямого пути, между проемом первого элемента и второй секцией корпуса. Второй элемент обеспечивает вторую поверхность соударения, которая выступает в поперечном
20 направлении поперек прямого пути течения по направлению ко второму проему, позволяя течению проходить через второй смесительный элемент. Вторая поверхность соударения предпочтительно не перфорирована и предпочтительно отклоняет жидкость вбок, т.е. радиально проему. Расстояние в боковом направлении между прямым путем и вторым проемом составляет, например, по меньшей мере 10 % или по меньшей мере 20 %
25 диаметра корпуса и/или по меньшей мере 20 см.

Второй смесительный элемент содержит, например, пластину, перегородку, которая выступает перпендикулярно (горизонтально в случае вертикально ориентированного реактора) общему направлению течения в корпусе. Вторым смесительным элементом, например, перегородка, предпочтительно перекрывает выступ
30 первого проема, например, как изображено на Фиг. 2. Второй элемент может преимущественно отклонять предварительно смешанный поток в боковом направлении ко второму проему.

Таким образом, при использовании, второй элемент может успешно вызвать второе, дальнейшее смешивание содержимого реактора, путем столкновения исходных материалов и отклонения смеси в боковом направлении.

5 Комбинация первого и второго смесительных элементов успешно обеспечивает траекторию течения, например, извилистый путь течения, вдоль которого исходные материалы реактора смешиваются. Течение, в частности, извивается радиально, т.е. в направлении, перпендикулярном направлению вдоль длины реактора.

10 Соответственно, первый смеситель можно понимать как смеситель поршневого типа, направляющий содержимое реактора по извилистому пути для первого начального этапа грубого смешивания.

Предпочтительно первый смесительный элемент и/или второй смесительный элемент, например, пластины, не имеет перфораций, что позволяет отклонять все течение по извилистому пути и предотвращать обход части исходных материалов пути смешивающего течения.

15 В некоторых вариантах осуществления химического реактора первый статический смеситель содержит первый смесительный элемент, который расположен в проекции указанных впускных отверстий в направлении течения текучих сред из указанных впускных отверстий и который выполнен с возможностью бокового отклонения течения потоков текучих сред, т.е. отклонения течения в направлении, перпендикулярном 20 указанному направлению течения, или направлению вдоль длины, путем удара указанных потоков текучих сред о поверхность указанного первого смесительного элемента. Отклонение течения и ударение текучей среды обеспечивают первое грубое смешивание.

25 Предпочтительно первый статический смеситель содержит первый смесительный элемент, который расположен над первым и вторым впускными отверстиями, и реактор представляет собой вертикальный реактор, в котором указанная первая секция представляет собой нижнюю секцию. Предпочтительно первый смесительный элемент выполнен с возможностью направления течения потоков текучих сред в горизонтальном направлении. Например, первый смесительный элемент выполнен с возможностью 30 направления течения текучих сред путем столкновения указанных потоков текучих сред на по существу горизонтальную (или горизонтальную) поверхность этого смесительного элемента. Предпочтительно первый смесительный элемент представляет собой смесительный элемент, который находится ближе всего к впускным отверстиям.

Предпочтительно каждый из первого и второго впускных отверстий независимо выполнен с возможностью подачи потока текучей среды по существу в вертикальном направлении в реактор.

5 Первый смесительный элемент содержит, например, пластину, предпочтительно пластину без перфораций, причем пластина предпочтительно расположена горизонтально. В некоторых вариантах осуществления реактор содержит кольцевое отверстие между пластиной и корпусом для текучих сред. Пластина представляет собой, например, дисковую пластину.

10 Например, реактор представляет собой вертикальный реактор, в котором первая секция представляет собой нижнюю секцию, а первый статический смеситель содержит первый смесительный элемент, который расположен над указанными впускными отверстиями и выполнен с возможностью отклонения течения потоков текучих сред в горизонтальном направлении путем столкновения указанных потоков текучих сред с по существу горизонтальной поверхностью указанного первого смесительного элемента.

15 Предпочтительно первый статический смеситель содержит дисковый элемент и кольцевой элемент. Предпочтительно каждый дисковый элемент и кольцевой элемент расположены горизонтально. Предпочтительно эти элементы расположены друг над другом и на расстоянии друг от друга по вертикали, так что текучая среда может течь горизонтально между этими элементами. Предпочтительно дисковый элемент полностью
20 перекрывает отверстие соседнего кольцевого элемента в вертикальной проекции. Например, дисковый элемент расположен между кольцевым элементом и первым и вторым впускными отверстиями. Предпочтительно дисковый элемент не перфорирован. В некоторых вариантах осуществления кольцевой элемент содержит только одно отверстие для прохождения текучей среды. Предпочтительно первый статический смеситель
25 содержит две пары дисковых и кольцевых элементов. В типичном варианте осуществления первый статический смеситель содержит в общем направлении течения (например, на линии от впускного отверстия к выпускному отверстию) стопку, состоящую, по порядку, из первого дискового элемента, первого и второго кольцевых элементов, причем второй кольцевой элемент имеет отверстие (проем) меньшего
30 диаметра, чем у отверстия первого кольцевого элемента, и второго дискового элемента. Предпочтительно второй дисковый элемент расположен по меньшей мере частично в проекции, вдоль длины реактора в направлении ниже по потоку, проема второго кольцевого элемента, тем самым препятствуя течению текучей среды, проходящему через

указанный проем указанного второго кольцевого элемента. Предпочтительно второй дисковый элемент расположен по меньшей мере частично в проекции, вдоль длины реактора в направлении ниже по потоку, проема первого кольцевого элемента, тем самым препятствуя течению текучей среды, проходящему через указанный проем указанного
5 первого кольцевого элемента. Предпочтительно первый дисковый элемент расположен по меньшей мере частично в проекции первого и второго впускных отверстий по направлению к проему первого кольцевого элемента, тем самым препятствуя прямому течению из указанных первого и второго впускных отверстий в указанный проем.

Реактор также содержит второй статический смеситель, расположенный ниже по
10 потоку от первого статического смесителя. В отличие от первого смесителя второй статический смеситель содержит один или большее количество элементов, например: сетку, перфорированную пластину или разделенные по бокам стержни, выполненные с возможностью отклонения, разделения, реакционной смеси по множеству соседних проходных каналов. По существу, второй статический смеситель можно понимать как
15 смеситель, структурированный смеситель, обеспечивающий множество соседних проходных каналов, предпочтительно по меньшей мере 10 или по меньшей мере 20 параллельных проточных каналов. Проходные каналы выполнены параллельно, в частности параллельно в поперечном сечении реактора, перпендикулярно длине реактора.

Предпочтительно соседние проточные каналы являются узкими и/или
20 обеспечивают сужение боковой площади поперечного сечения течения на по меньшей мере 50 % или на по меньшей мере 90 %. Ниже по потоку от сужения текучая среда расширяется, и турбулентность может способствовать хорошему и тщательному смешиванию.

Соответственно, в предпочтительном варианте осуществления второй статический
25 смеситель содержит один или большее количество элементов, направляющих течение элементов, выполненных с возможностью направления, разделения, потока реактора по множеству соседних проточных каналов.

Характеристический размер (d_2) проходных каналов, содержащихся во втором статическом смесителе, меньше характеристического размера (d_1) проточного канала,
30 содержащегося в первом статическом смесителе, при этом характеристический размер проходных каналов по отношению к проточным каналам определяется максимальным размером твердой сферы, которая может пройти без деформации. Следует обратить внимание, что для круглых проходов характеристический размер будет соответствовать

диаметру, тогда как для квадратных или прямоугольных проходов, например, канавок, характеристический размер будет соответствовать расстоянию между противоположными краями.

Отклонение грубо смешанного потока из первого статического смесителя во
5 втором статическом смесителе во множество проходных каналов, имеющих сравнительно
меньший характеристический размер, улучшает контакт, например, увеличенная площадь
границы раздела, между компонентами, содержащимися в соответствующих исходных
материалах. Например, протекание грубо смешанного потока многофазной текучей среды
10 по проходам с все более меньшим характеристическим диаметром может уменьшить
размерность фаз в смеси, т.е. размер газового пузырька в непрерывной жидкости и/или
сверхкритической фазе или размер сверхкритической фазы в жидкой фазе. Чем меньше
характеристический размер, тем теснее контакт между соответствующими фазами. В
предпочтительном варианте осуществления характеристический размер (d_2) проходов во
втором статическом смесителе в по меньшей мере два раза меньше характеристического
15 размера (d_1) каналов, содержащихся в первом статическом смесителе ($d_1/d_2 \geq 2$).
Предпочтительно $d_1/d_2 \geq 4$, более предпочтительно $d_1/d_2 \geq 10$. Более предпочтительно
 $d_1/d_2 \geq 20$, например, в диапазоне от 20 до 100.

Соответственно, в другом или дополнительном предпочтительном варианте
осуществления множество проходных каналов имеют характеристический размер (d_2),
20 определяемый максимальным размером твердой сферы, которая может проходить без
деформации, который в по меньшей мере 4 раза меньше, предпочтительно в по меньшей
мере 10 раз меньше, наиболее предпочтительно в по меньшей мере 20 раз меньше
характеристического размера (d_1) каналов, содержащихся в первом статическом
смесителе.

По сравнению с характеристическим размером реактора D , т.е. диаметра,
25 характеристический параметр смешивания M_s для первого статического смесителя $M_{s,1}$,
определяемый как D/d_1 , как правило составляет от 1 до 50, предпочтительно от 1 до 10.
Характеристический параметр смешивания M_s для второго статического смесителя ($M_{s,2}$),
определяемый как D/d_2 как правило составляет от 10 до 1000, предпочтительно от 50 до
30 1000. Кроме того, $M_{s,2}$ будет больше чем $M_{s,1}$ в по меньшей мере 2 раза. Предпочтительно
 $M_{s,2}/M_{s,1} \geq 10$, более предпочтительно ≥ 20 .

Предпочтительно второй статический смеситель содержит смесительные элементы,
направляющие течение элементы, каждый из которых содержит (нижнюю) кромку,

приспособленную для разделения течения текучей реакционной среды в реакторе на два подтечения. Предпочтительно второй статический смеситель дополнительно содержит каналы для указанных подтечений. Предпочтительно каналы имеют конусную форму и сужаются в направлении течения, например, в направлении вверх для вертикального
5 реактора с впускными отверстиями в нижней части. Сужающиеся каналы обеспечивают сужение (запирание), которое увеличивает скорость подтечений, образуя множество нисходящих струй текучей среды при выходе из каналов. Это может способствовать тщательному смешиванию. Конусообразная форма сужающихся каналов успешно обеспечивает относительно низкий перепад давления по смесительному элементу. В
10 некоторых вариантах осуществления второй статический смеситель содержит один или множество горизонтальных слоев указанных смесительных элементов, при этом соседние смесительные элементы в таком слое находятся на расстоянии друг от друга по горизонтали для обеспечения прохождения текучих сред. В некоторых вариантах осуществления второй статический смеситель содержит по меньшей мере два таких
15 горизонтальных слоя смесительных элементов, при этом слои уложены вертикально друг на друга.

Предпочтительно второй статический смеситель содержит один или большее количество слоев параллельных угловых профилей, причем каждый угловой профиль имеет боковые кромки. Угловые профили предпочтительно обращены к первому и
20 второму впускным отверстиям. Боковые кромки соседних угловых профилей находятся на расстоянии друг от друга для обеспечения прохождения текучей среды через отверстия между угловыми профилями.

Понятно, что конусные каналы также могут быть выполнены с помощью ряда альтернативных средств, включая, но не ограничиваясь ими, конические перфорации,
25 например в пластине и сетке с коническими боковыми стенками.

Предпочтительно второй статический смеситель содержит по меньшей мере два из указанных слоев угловых профилей, при этом указанные слои уложены вертикально друг на друга. Например, угловые профили в соседних по вертикали слоях расположены под углом друг к другу в горизонтальной плоскости. Например, угловые профили в соседних
30 по вертикали слоях располагаются под углом от 30° до 90° , т.е. под углом 90° друг к другу в горизонтальной плоскости. Например, угловые профили в двух соседних по вертикали слоях пересекают друг друга в вертикальной проекции в точках пересечения в горизонтальной плоскости. Например, угловые профили в двух соседних по вертикали

слоях находятся в соприкосновении в этих точках пересечения. Например, нижние кромки угловых профилей верхнего слоя соприкасаются с верхними боковыми кромками нижнего слоя смесительных элементов.

Предпочтительно проходы для текучей среды, содержащиеся во втором статическом смесителе, расположены вдоль центрального положения корпуса, тогда как внешний периметр вокруг проходов выполнен с возможностью препятствовать прохождению текучей среды и направлять входящее течение вдоль боковых стенок корпуса в направлении центральной части. Вторая часть может, например, обеспечиваться пластиной, например, кольцевой пластиной, предпочтительно неперфорированной пластиной.

Предпочтительно смесительные элементы, например, первый и/или второй слои профилей могут быть установлены, закреплены, на пластине, которая может быть прикреплена к стенкам корпуса как единое целое, сокращая время простоя во время эксплуатации.

Соответственно, в предпочтительном варианте осуществления второй статический смеситель содержит первую часть с одним или большим количеством смесительных элементов, например, угловых профилей, и вторую часть, например, пластину, выполненную с возможностью направления течения в центр.

В еще одних предпочтительных вариантах осуществления, особенно для реакторов вертикальной конфигурации, второй статический смеситель содержит препятствующий переливанию барьер. Препятствующий переливанию барьер может быть предусмотрен во второй части, например, как изображено на Фиг. 2А. Предпочтительно препятствующий переливанию барьер образует ободок вдоль границы между первой и второй частями, например, ободок, расположенный по окружности вдоль внутреннего периметра кольцевой пластины. Препятствующий переливанию барьер можно использовать для установки смесительных элементов, например, первого и/или последующих слоев угловых профилей. Изобретатели обнаружили, что создание препятствующего переливанию барьера, ободка, может дополнительно способствовать более тщательному смешиванию компонентов реакционной смеси, в частности, для реакций, включающих одну или большее количество газовых или сверхкритических фаз и жидкую фазу.

Не желая ограничиваться теорией, изобретатели обнаружили, что пропускание реакционной смеси через второй смесительный элемент, содержащий препятствующую переливанию кромку, может предпочтительно направлять фазу(ы) смеси с более низкой

плотностью вдоль средней (центральной) части реактора, тогда как фаза(ы) с более высокой плотностью направляется в сторону цилиндрического корпуса. Предпочтительное направление фаз с более высокой плотностью к стенке корпуса может успешно улучшить смешивание текучих сред, поскольку фаза с более высокой
5 плотностью распределяется по большей поверхности, обеспечивая улучшенный контакт и/или теплообмен с фазой с более низкой плотностью.

Реактор, например, дополнительно содержит газораспределитель, расположенный в первой секции корпуса ниже по потоку от второго статического смесителя. Реактор представляет собой, например, вертикальный реактор, в котором первая секция
10 представляет собой нижнюю секцию. В таком варианте осуществления газораспределитель содержит, например, горизонтальную перфорированную пластину. В некоторых вариантах осуществления горизонтальная перфорированная пластина снабжена кромкой с обращенным вниз ободком, и реактор содержит кольцевое пространство между перфорированным местом и внутренней стенкой реактора для
15 протекания текучей среды. В процессе эксплуатации под газораспределителем может образоваться газовая подушка. Предпочтительно расстояние по вертикали между нижней частью газораспределителя и верхней частью второго статического смесителя составляет менее 5 % длины реактора. Газораспределитель можно использовать, например, в вариантах осуществления, в которых реактор представляет собой реактор синтеза
20 мочевины.

На **Фиг. 2** схематически изображена первая секция, представляющая собой нижнюю секцию, типичного реактора по изобретению с первым и вторым статическими смесителями. Ссылки 1-10 являются такими же, что и для **Фиг. 1**. Течение текучей среды проиллюстрировано на **Фиг. 2А**.

Первый статический смеситель (9) содержит дисковый элемент (11) и кольцевой элемент (12), как горизонтально расположенные, так и расположенные на расстоянии друг от друга по вертикали. Дисковый элемент расположен в проекции первого и второго
25 впускных отверстий и препятствует течению текучей среды из первого и второго впускных отверстий, отклоняя текучую среду в боковом направлении, радиально наружу, по направлению к кольцевому отверстию (23) между дисковым элементом (11) и корпусом (2). Кольцевой элемент (12), в свою очередь, препятствует прямому течению из
30 отверстия (23) и отклоняет течение радиально внутрь. Текучая среда извивается вокруг дискового элемента и между диском и кольцевым элементом (линия потока А). Ниже по

потоку от проема кольцевого элемента второе извилистое течение (В) создается расположенным ниже по потоку кольцевым элементом (24а) и дисковым элементом (24b).

Таким образом, первый статический смеситель содержит первую перегородку (11), расположенную поперек баллистической траектории (25) от первого впускного отверстия (5) по направлению ко второй секции, а также поперек баллистической траектории от второго впускного отверстия (6) по направлению ко второй секции. Первая перегородка обеспечивает первую поверхность соударения для указанной первой текучей среды и указанной второй текучей среды (а именно нижнюю поверхность), при этом поверхность соударения выступает вбок (L) по направлению к проему (23).

10 Таким образом, первый статический смеситель также содержит по меньшей мере вторую перегородку (12), расположенную поперек баллистической траектории (26) между проемом (23) первого элемента и второй секцией, причем указанная вторая перегородка образует вторую поверхность соударения, которая выступает в поперечном направлении, например радиально внутрь, по направлению ко второму проему (23а), что позволяет
15 реакционной смеси проходить через второй смесительный элемент, при этом вторая перегородка перекрывает выступ первого проема, чтобы обеспечить извилистый путь течения (А, В) для текучей среды через первый статический смеситель.

Реактор, как проиллюстрировано, содержит необязательное третье впускное отверстие (20) в первой секции для третьего потока текучей среды.

20 Второй статический смеситель (10) содержит смесительные элементы, каждый из которых содержит кромку (13), приспособленную для разделения течения реакционной среды в реакторе на два подтечения (С1, С2). Второй статический смеситель дополнительно содержит каналы (14) для указанных подтечений (С1, С2). Каналы имеют конусообразную форму и сходятся в восходящем направлении. Каналы (14) расположены параллельно в
25 поперечном сечении, перпендикулярном длине реактора, например выполнены в виде параллельных каналов в горизонтальном поперечном сечении. Расположенная ниже по потоку наиболее суженная часть (27) каналов (14) является очень узкой, что обеспечивает значительное сужение, расширение и турбулентность в зоне (28) сразу ниже по потоку от узкого конца каналов (см. Фиг. 3).

30 Второй статический смеситель (10) состоит из двух уложенных друг на друга слоев (15, 16) угловых профилей. В показанном примере угловые профили расположены под углом 90° между двумя слоями; можно использовать пересекающиеся углы в диапазоне,

например, от 30° до 90°. Угловые профили в соседних слоях, например, соприкасаются друг с другом.

Отверстие в кольцевом элементе (12) и расстояние между дисковым элементом (11) и кольцевым элементом (12) позволяют проходить сферам без деформации, например, без
5 соприкосновения с указанными элементами, через первый статический смеситель, для сфер до определенного максимального размера. Сферы с таким максимальным размером не могут пройти через узкие каналы (14) второго статического смесителя. Второй статический смеситель, соответственно, предназначен для более тщательного смешивания
10 текучих сред, чем первый статический смеситель. Как изображено, в первом статическом смесителе используется радиальное отклонение, а во втором статическом смесителе, в частности, используется сужающийся канал для создания турбулентности и тщательного смешивания. Было обнаружено, что комбинация двух различных типов статического смешивания обеспечивает хорошее смешивание, особенно для потоков исходных материалов реактора синтеза мочевины. Оба типа статического смешивания не зависят от
15 силы тяжести и могут также использоваться, например, в горизонтальном реакторе.

На расположенной ниже по потоку стороне второго статического смесителя предусмотрен препятствующий переливанию барьер (29) который способствует распределению, в частности, фазы с более высокой плотностью, как показано линией потока (D).

20 Типичная нижняя секция, как изображено, дополнительно содержит необязательный газораспределитель (17), расположенный над вторым статическим смесителем (10). Газораспределитель содержит горизонтальную перфорированную пластину (18) с кромкой с обращенным вниз ободком (19). В процессе эксплуатации под перфорированной пластиной образуется подушка из фракции текучей среды низкой
25 плотности (газовая подушка), а фракция текучей среды высокой плотности, например, такой текучей среды, как образовавшаяся мочевины и вода, течет вокруг перфорированной пластины через кольцевое пространство между ободком (19) и корпусом (2), тогда как фракция текучей среды с более низкой плотностью, например, газообразные и/или сверхкритические компоненты, течет через перфорационные отверстия в пластине (18).
30 Таким образом, образуются пузырьки компонентов текучей среды с более низкой плотностью, например, пузырьки газообразных и/или сверхкритических компонентов перераспределяются.

В типичном варианте осуществления реактор на Фиг. 2 представляет собой реактор синтеза мочевины, имеющий в нижней части три отдельных впускных отверстия для подачи исходного NH_3 , исходного CO_2 и рециркуляции карбамата, соответственно.

На Фиг. 3 схематически изображены детали типичного смесительного элемента
5 второго статического смесителя, применяемого в изобретении. Второй статический смеситель содержит горизонтальный слой параллельных направленных вниз угловых профилей (21), содержащих боковые кромки (22). Боковые кромки (22a, 22b) соседних угловых профилей находятся на расстоянии друг от друга для обеспечения потока текучей среды (C1, C2) через отверстия (14) между угловыми профилями. Боковые кромки
10 обеспечивают конические сходящиеся каналы (14), при этом угловые профили по существу образуют препятствующую поверхность, а пространство между боковыми кромками определяет зону течения через боковое поперечное сечение смесительного элемента. Видно, что соседние проточные каналы (14) обеспечивают сужение площади бокового (горизонтального на рисунке) поперечного сечения течения не менее чем на
15 50 %.

В предпочтительном варианте осуществления реактора каждый из смесительных элементов первого и второго статических смесителей получен из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали. Это особенно предпочтительно для вариантов осуществления, в которых химический реактор представляет собой реактор синтеза
20 мочевины. Корпус реактора может также содержать внутреннюю облицовку, выполненную из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали.

Например, используется ферритно-аустенитная дуплексная нержавеющая сталь с содержанием Cr от 26 до 35 масс. % и содержанием Ni от 3 до 10 масс. %.

Например, элементный состав дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей
25 стали содержит или состоит из, в массовых процентах: C 0 - 0,05; Si 0 - 0,8; Mn 0 - 4,0; Cr 26 - 35; Ni 3,0 - 10; Mo 0 - 4,0; N 0,30 - 0,55; Cu 0 - 1,0; W 0 - 3,0; S 0 - 0,03; Ce 0 - 0,2; остальное составляет Fe и неизбежные примеси.

В одном варианте осуществления, элементный состав дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали содержит или состоит из, в массовых процентах: C 0 -
30 0,030; Mn 0,8 - 1,50; S 0 - 0,03; Si 0 - 0,50; Cr более чем 29 - 30,0; Ni 5,8 - 7,5; Mo 1,50 - 2,60; W 0 - 3,0; Cu 0 - 0,80; N 0,30 - 0,40; Ce 0 - 0,2; остальное Fe и неизбежные примеси. В дополнительном варианте осуществления, элементный состав дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали содержит или состоит из, в массовых процентах: C 0 -

0,03; Si 0 - 0,5; Mn 0,3 - 1; Cr более чем 29 - 33; Ni 3 - 10; Mo 1,0 - 1,3; N 0,36 - 0,55; Cu 0 - 0,8; W 0 - 2,0; S 0 - 0,03; Se 0 - 0,2; остальное составляет Fe и неизбежные примеси.

Сплавы дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали также могут именоваться сплавами на основе железа. Не обязательно сплавы дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали содержат ненулевое количество С.

Подходящие сплавы дуплексной нержавеющей стали включают, например, сталь, доступную как сталь Safurex® и имеющую состав 29Cr-6,5Ni-2Mo-N, которая также обозначена кодом ASME 2295-3 и UNS S32906, а также сталь, доступную как сталь DP28W™ и имеющую состав 27Cr-7,6Ni-1Mo-2,3W-N, которая также обозначена кодом ASME 2496-1 и UNS S32808.

Другие сплавы дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали также могут использоваться. Другие коррозионностойкие стальные сплавы и другие коррозионностойкие материалы также могут использоваться. Наконец, для первого и второго статических смесителей также могут использоваться другие конструкционные материалы, например, если химический реактор используется для соединений, которые являются некоррозионными.

Предпочтительное смешивание CO₂ и аммиака с образованием карбамата аммония в предпочтительном реакторе синтеза мочевины является сильно экзотермическим и может привести к образованию горячих точек и последующей коррозии реактора. Вышеупомянутые сплавы дуплексной нержавеющей стали в комбинации с описанной в настоящем документе конструкцией первого и второго статических смесителей преимущественно устраняют этот риск коррозии в зоне смешивания. В частности, щелевой коррозии можно избежать с помощью первого и второго статических смесителей по настоящему изобретению. Кроме того, предпочтительно используемый газораспределитель не обязательно также изготовлен из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали, предпочтительно из дуплексного стального сплава, как обсуждается в настоящем документе.

Аспект изобретения относится к способу смешивания, осуществляемому в химическом реакторе по изобретению, в котором по меньшей мере первая и вторая текущие среды смешиваются в зоне смешивания, предпочтительно при давлении выше 100 Бар, и не обязательно дополнительно смешиваются по меньшей мере с дополнительной текущей средой, например, из третьего впускного отверстия для текущей среды.

Первая и вторая текущие жидкости имеют разный химический состав. В некоторых вариантах осуществления поток первой текущей жидкости представляет собой текучую жидкость у первого впускного отверстия, а поток второй текущей жидкости представляет собой газ у второго впускного отверстия.

5 Дополнительный аспект изобретения относится к способу взаимодействия, объединения и/или смешивания первого и второго химических соединений, который включает: подачу указанного потока первой текущей среды, содержащего указанное первое соединение, и указанного потока второй текущей среды, содержащего указанное второе соединение, в химический реактор по изобретению и приведение указанных
10 первого и второго соединений в контакт друг с другом в указанной зоне смешивания химического реактора, и предпочтительно смешивание указанных первого и второго соединений в указанной зоне смешивания с использованием указанных первого и второго статического смесителя, и предпочтительно взаимодействие первого и второго соединения друг с другом. Химический реактор, например, работает при давлении выше
15 100 Бар.

В этих способах и в способе получения мочевины по настоящему изобретению способ предпочтительно включает смешивание текучих сред в реакционной смеси как в первом, так и во втором статическом смесителе, при этом текущие среды смешиваются более тщательно во втором смесителе, чем в первом статическом смесителе.

20 Химический реактор по изобретению представляет собой, например, реактор синтеза мочевины.

Изобретение также относится к установке по производству мочевины, содержащей такой реактор синтеза мочевины. Изобретение также относится к способу получения мочевины, осуществляемому с использованием такого реактора синтеза мочевины и/или
25 осуществляемому на такой установке по производству мочевины.

В способе получения мочевины, как описано в настоящем документе, поток первой текущей среды, например, имеет более высокий масс. % NH_3 , чем поток второй текущей среды. В некоторых типичных вариантах осуществления поток первой текущей среды представляет собой исходный NH_3 . В некоторых типичных вариантах осуществления
30 поток второй текущей среды представляет собой исходный CO_2 .

В некоторых вариантах осуществления поток первой текущей среды содержит, например, также раствор карбамата. Раствор карбамата подают, например, из установки конденсации карбамата ВД или из секции извлечения. В некоторых вариантах

осуществления установка по производству мочевины содержит эжектор, приводимый в движение исходным NH_3 , имеющий впускное отверстие для рециркуляционного раствора карбамата, предназначенного для транспортировки, и имеющий выпускное отверстие, соединенное с впускным отверстием, например, указанным первым впускным отверстием
5 реактора синтеза мочевины по изобретению.

В некоторых вариантах осуществления реактор синтеза мочевины содержит отдельное третье впускное отверстие в указанной нижней секции для рециркуляционного раствора карбамата.

Поскольку такое промежуточное соединение, как карбамат аммония, является
10 чрезвычайно коррозионным в условиях синтеза мочевины, для реакторов синтеза мочевины важно, чтобы детали, контактирующие с реакционной средой, были коррозионностойкими. Например, внутренняя поверхность корпуса изготовлена из коррозионностойких материалов, например, дуплексной нержавеющей стали. Более того, поскольку реакция образования карбамата является экзотермической и быстрой,
15 существует риск образования горячих точек в зоне смешивания. Образующийся карбамат аммония в таких горячих точках может оказаться еще более коррозионным.

Реактор содержит, например, корпус (например, из углеродистой стали) и внутренний слой из коррозионностойкого материала, например, внутреннюю облицовку или наплавку из коррозионностойкого материала. Коррозионностойкий материал
20 представляет собой, например, дуплексную нержавеющую сталь. Типичные элементные составы стали, описанные выше для дуплексной нержавеющей стали, также могут быть использованы, например, для такого внутреннего слоя реактора. Такой внутренний слой как правило используется, например, в реакторах мочевины.

Реактор синтеза мочевины представляет собой, например, вертикальный
25 цилиндрический реактор с первым и вторым впускными отверстиями в нижней части. В этом варианте осуществления реактор синтеза мочевины содержит, например, множество вертикально разнесенных горизонтально расположенных перфорированных реакторных тарелок, которые расположены над вторым статическим смесителем.

Аспект изобретения относится к установке по производству мочевины,
30 содержащей секцию синтеза под высоким давлением, содержащую впускное отверстие для исходного NH_3 , впускное отверстие для исходного CO_2 и химический реактор по изобретению в качестве реактора синтеза мочевины. Химический реактор содержит зону смешивания с первым и вторым статическими смесителями, как обсуждалось. Впускное

отверстие для исходного CO_2 как правило соединено с компрессором CO_2 ВД, а выпускное отверстие для исходного NH_3 как правило соединено с аммиачным насосом ВД.

Реактор содержит выпускное отверстие для потока синтеза мочевины, которое соединено с секцией диссоциации карбамата. Можно использовать одну или большее
5 количество секций диссоциации карбамата. Секция диссоциации карбамата содержит теплообменник и/или расширительный клапан. Как правило секция диссоциации карбамата содержит теплообменник для нагревания потока синтеза мочевины. Предпочтительно секция диссоциации карбамата содержит вертикальный кожухотрубный теплообменник с падающей пленкой, выполненный с возможностью приема раствора
10 мочевины у верхнего выпускного отверстия трубопровода. Например, теплообменник представляет собой отпарную колонну высокого давления.

Установка может содержать один или большее количество реакторов синтеза мочевины, расположенных параллельно и/или последовательно. Один или большее количество реакторов синтеза мочевины могут представлять собой химический реактор
15 по изобретению с зоной смешивания, как описано в настоящем документе.

Реактор синтеза мочевины по изобретению может быть использован для способа получения мочевины, который включает взаимодействие содержащего NH_3 сырья и содержащего CO_2 сырья с образованием карбамата аммония и дегидратацию карбамата аммония до мочевины и воды в условиях образования мочевины в реакторе синтеза
20 мочевины, причем реактор синтеза мочевины представляет собой химический реактор по изобретению, содержащий зону смешивания. Реактор синтеза мочевины представляет собой вертикальный реактор с первым и вторым выпускными отверстиями в нижней части. Реактор синтеза мочевины, например, служит автоклавом.

Реактор в целом приближается к конфигурации поршневого типа, так что в нижней
25 части присутствует преимущественно сырье. Реакция конденсации карбамата протекает быстро, и в нижней зоне реактора образуется высококоррозионный карбамат аммония.

Предпочтительно реактор работает при давлении выше 100 Бар, например, в диапазоне от 100 до 350 Бар. Например, реактор работает при температуре выше 125 °С, например, выше 140 °С, например, в диапазоне от 125 до 250 °С или от 140 до 250 °С,
30 например, в диапазоне от 180 до 230 °С. Например, плотность содержащего NH_3 сырья составляет более 100 кг/м³, а плотность содержащего CO_2 сырья у выпускного отверстия реактора составляет более 100 кг/м³.

В этом способе поток синтеза мочевины отводят из верхней части реактора, необязательно с использованием вертикальной сливной трубы и необязательно в сочетании с разделением газа и жидкости. Необязательно, реактор имеет только одно выпускное отверстие для выходящего из реактора потока, при этом необязательно реактор
5 содержит выпускное отверстие для газообразного потока (так называемых «инертных веществ») и выпускное отверстие для раствора синтеза мочевины.

В некоторых вариантах осуществления в реактор синтеза мочевины установки мочевины и способа подают по существу газообразный поток диоксида углерода и по существу жидкий поток аммиака или аммиака/карбамата аммония, при этом термины «по
10 существу газообразный» и «по существу жидкий» также включает сверхкритическое состояние. В некоторых вариантах осуществления поток исходного NH_3 имеет более высокую гравиметрическую плотность, чем поток исходного CO_2 .

Как правило реагенты (например, исходный CO_2 и исходный NH_3) подают в реактор снизу, через нижнюю часть реактора. Равномерное распределение реагентов по
15 горизонтальному поперечному сечению реактора мочевины должно быть достигнуто, желательно в нижней части реактора, занимающей желательно небольшую часть длины реактора. Достижение хорошего смешивания компонентов жидкого сырья на небольшой части длины реактора способствует оптимальному использованию объема реактора. Однако добиться такого смешивания сложно.

20 Реактор синтеза мочевины по настоящему изобретению решает эту проблему достижения хорошего смешивания исходных компонентов реактора синтеза мочевины, по меньшей мере частично за счет использования зоны смешивания с первым и вторым статическими смесителями, как описано в настоящем документе.

Способ получения мочевины включает очистку потока синтеза мочевины в одной
25 или большем количестве секций диссоциации, как правило путем расширения потока синтеза мочевины высокого давления до более низкого давления, чем давление синтеза, и/или нагревания, а также разделения газа и жидкости с получением раствора мочевины и потока газа. Компоненты потока газа (CO_2 и NH_3) предпочтительно по меньшей мере частично возвращают в секцию синтеза мочевины после конденсации.

30 Раствор мочевины после достаточной очистки, например, подвергают этапу концентрирования, например, в одном или большем количестве вакуумных испарителей, с получением расплава мочевины. Расплав мочевины, например, подвергают затвердеванию в секции окончательной обработки.

Секция окончательной обработки представляет собой, например, гранулятор, или грануляционную башню, или секцию окончательной обработки другого типа. Расплав мочевины также может быть использован, по меньшей мере частично, например, для получения меламина. Очищенный раствор мочевины также могут использовать, по 5 меньшей мере частично, в виде жидкого потока, например, для получения жидких удобрений. Продукт мочевины можно использовать, например, в качестве удобрения или, например, в качестве жидкости для очистки выхлопных газов дизельных двигателей или, например, в качестве исходного материала для установки меламина.

Реактор синтеза мочевины по изобретению могут использовать во многих типах 10 способов получения мочевины, включая, например, процессы отпаривания, процессы полной рециркуляции и даже прямоточные процессы. Реактор синтеза мочевины можно использовать в способах получения мочевины, в которых в реактор подают по меньшей мере два отдельных потока текучей среды, в частности, когда по меньшей мере два отдельных потока текучей среды подают в нижнюю часть вертикального реактора синтеза 15 мочевины.

В некоторых вариантах осуществления способ получения мочевины относится к так называемому «прямоточному» типу. В таком варианте осуществления реактор мочевины получает исходный CO_2 и исходный NH_3 с образованием потока синтеза мочевины. Реактор не получает никакого рециркуляционного потока в результате 20 восстановления компонентов из потока синтеза мочевины. В типичном варианте осуществления с установкой мочевины прямоточного типа исходный CO_2 и исходный NH_3 подают в нижнюю часть реактора, который представляет собой вертикальную емкость, а выходящие из реактора потоки отводят в верхнюю часть реактора.

В некоторых вариантах осуществления способ получения мочевины включает 25 рециркуляцию по меньшей мере части по меньшей мере одного компонента из потока синтеза мочевины в секцию синтеза под высоким давлением. Как правило выходящий из реактора поток подвергают расширению до давления, более низкого, чем давление синтеза, и/или нагреванию, в один или большее количество этапов, а также разделению газа и жидкости, с получением раствора мочевины и отходящего газа. Отходящий газ как 30 правило содержит CO_2 и NH_3 , которые по крайней мере частично и как правило после конденсации рециркулируют в секцию синтеза мочевины под высоким давлением. В некоторых вариантах осуществления по меньшей мере часть отходящего газа конденсируется в раствор карбамата и необязательно в жидкий NH_3 , а раствор карбамата

и необязательно жидкий NH_3 рециркулируют по меньшей мере частично в секцию синтеза под высоким давлением.

В некоторых вариантах осуществления установка относится к типу полной рециркуляции, и способ включает рециркуляцию раствора карбамата, полученного путем
5 конденсации потока газа, содержащего CO_2 и NH_3 , причем поток газа получают в результате очистки выходящего из реактора потока на этапе диссоциации карбамата, который осуществляют, например, при высоком, среднем или низком давлении.

В конкретном варианте осуществления установка для производства мочевины содержит отпарную колонну высокого давления, в которой в процессе эксплуатации
10 выходящий из реактора поток подвергают отгонке при высоком давлении с использованием противоточного контактирования с отпарным газом и нагревания. Отпарный газ представляет собой, например, исходный CO_2 , исходный NH_3 или является полученным путем нагревания раствора мочевины (самоотгонка или термическая отгонка). Отпарная колонна представляет собой, например, кожухотрубный
15 теплообменник с падающей пленкой и раствором мочевины в трубопроводах. Отпарная колонна имеет выпускное отверстие для потока смешанного газа, содержащего CO_2 и NH_3 , и выпускное отверстие для отпаренного раствора мочевины. В вариантах осуществления с установкой мочевины и процессом отпарного типа секция синтеза мочевины ВД работает, например, в режиме отпаривания при от 120 до 180 Бар.

В некоторых вариантах осуществления по меньшей мере часть потока смешанного
20 газа подают в конденсатор карбамата высокого давления, который, например, представляет собой горизонтальный или вертикальный конденсатор, и который представляет собой, например, погружной конденсатор. Конденсатор карбамата высокого давления представляет собой, например, кожухотрубный теплообменник с газом,
25 подлежащим конденсации, например, в трубопроводах или в корпусе. В таком конденсаторе карбамата ВД по меньшей мере часть газа из отпарной колонны ВД по меньшей мере частично конденсируется в карбамат аммония, содержащийся в потоке текучей среды. Этот поток текучей среды может именоваться раствором карбамата.

В некоторых вариантах осуществления часть газа из отпарной колонны подают
30 непосредственно в реактор синтеза мочевины, при этом реактор синтеза мочевины получает газ из отпарной колонны через впускное отверстие в нижней части реактора. В некоторых вариантах осуществления реактор синтеза мочевины содержит два впускных

отверстия в нижней части реактора: одно для раствора карбамата и одно для потока смешанного газа из отпарной колонны.

Реактор синтеза мочевины, например, также может представлять собой предварительный реактор, как описано в US 2015/0322000A1. Реактор может, например, 5 получать раствор карбамата из секции извлечения и часть потока газа из отпарной колонны высокого давления.

Конструкция реактора мочевины по настоящему изобретению, например, без ограничений, пригодна в вариантах осуществления, в которых используется отпарная колонна высокого давления «самоотпарного типа». На таких установках исходный NH_3 10 как правило вводят в реактор мочевины. Примером может служить так называемый процесс производства мочевины типа «Снам Проджетти».

В некоторых вариантах осуществления способ получения мочевины относится к типу с отпарной колонной высокого давления, с использованием в качестве отпарного газа CO_2 . В некоторых вариантах осуществления первую часть исходного CO_2 подают в 15 отпарную колонну, а вторую часть исходного CO_2 подают в виде исходного газообразного потока в реактор. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления в реактор подают исходный NH_3 , необязательно в смеси с карбаматом. Как правило реактор имеет два или большее количество впускных отверстий в нижней части реактора. В таком способе получения мочевины конструкция реактора мочевины по настоящему изобретению может 20 быть использована с хорошими результатами. Примером такого процесса является процесс «Аванкор» с бассейновым конденсатором, как изображено в Энциклопедии Ульманна, Мочевина, 2010, Фиг. 22.

Еще одним примером является процесс с использованием дореактора, например процесс, описанный на Фиг. 1 в US 2015/0119603.

25 Другим примером является процесс ACES21, как изображено в Энциклопедии Ульманна, Мочевина, 2010, Фиг. 28.

Конструкция реактора может, например, также использоваться в вариантах осуществления, в которых установка содержит отпарную колонну ВД CO_2 , исходный NH_3 подают в реактор, а газ и жидкость из одного или большего количества конденсаторов ВД 30 карбамата также подают в реактор, отдельно от исходного NH_3 . Примером может служить процесс ACES, проиллюстрированный в Энциклопедии Ульманна, Мочевина, 2010, Фиг. 27.

В других вариантах осуществления часть газового потока из отпарной колонны ВД с использованием исходного CO_2 в качестве отпарного газа подают в реактор синтеза мочевины, который представляет собой химический реактор, имеющий зону смешивания, по изобретению.

5 В вариантах осуществления, в которых установка и способ производства мочевины относятся к типу с отпарной колонной ВД CO_2 , а также в других вариантах осуществления установки и способа производства мочевины, установка может содержать два или даже большее количество реакторов синтеза мочевины, при этом, например, по меньшей мере один реактор представляет собой химический реактор с зоной смешивания, как описано в
10 настоящем документе.

В некоторых вариантах осуществления описанный в настоящем документе способ получения мочевины включает рециркуляцию раствора карбамата из секции извлечения в секцию синтеза мочевины, без отпарной колонны высокого давления. В таких вариантах осуществления реактор мочевины ВД работает, например, при давлении от 180 до 250
15 Бар. Реактор, например, работает при температуре выше 190°C и давлении от 180 до 250 Бар. Эти давления и температуры выше, чем обычно используемые в установках мочевины с отпарными колоннами высокого давления. Особенно при таких более высоких температурах существует повышенный риск коррозии, вызванный карбаматом аммония, присутствующим в реакторе.

20 Пример такого способа проиллюстрирован в Энциклопедии Ульманна, Мочевина, 2010, Фиг. 12, за исключением того, что в проиллюстрированном способе используется внешний смеситель для смешивания исходного CO_2 , исходного NH_3 и рециркуляционного потока карбамата. В настоящем изобретении зона смешивания является внутренней по отношению к реактору. Таким образом, изобретение успешно обеспечивает улучшенное
25 смешивание, меньшие риски коррозии и более простую конструкцию с меньшим количеством единиц оборудования высокого давления. Статические смесители, используемые в настоящем изобретении, преимущественно имеют простую и прочную конструкцию.

В некоторых вариантах осуществления выходящий из реактора поток (поток
30 синтеза мочевины) из реактора мочевины ВД, расширяют до среднего давления (СД) и подвергают диссоциации с нагреванием при СД с получением отходящего газа СД и раствора мочевины СД, отходящий газ СД конденсируют в конденсаторе карбамата СД с получением раствора карбамата СД и конденсируют в конденсаторе аммиака с

получением рециркуляционного потока аммиака. Конденсатор карбамата СД и конденсатор аммиака могут работать при разных температурах и/или давлениях. Раствор карбамата СД перекачивают обратно в реактор мочевины ВД, и рециркуляционный поток аммиака также перекачивают обратно в реактор мочевины ВД. Раствор мочевины СД
5 дополнительно расширяют до низкого давления (НД) и подвергают диссоциации НД при нагревании с получением очищенного раствора мочевины НД и отходящего газа НД. Отходящий газ НД конденсируется в конденсаторе карбамата НД с получением раствора карбамата НД, который также рециркулируют в реактор мочевины ВД, как правило через секцию СД.

10 На **Фиг. 4** схематически изображена типичная технологическая схема способа получения мочевины по изобретению. Исходный CO_2 (101) и исходный NH_3 (102) подают в реактор высокого давления (А). Реактор высокого давления (А) представляет собой химический реактор по изобретению с первым и вторым статическими смесителями, в частности реактор синтеза мочевины по изобретению. Выходящий из реактора поток (103)
15 содержит мочевины, карбамат аммония и воду и очищается, необязательно, после расширения выходящего из реактора потока от высокого давления до, например, среднего давления в секции диссоциации (В), которая включает этап разделения газа и жидкости с получением очищенного раствора мочевины (104) и отходящего газа (105). Отходящий газ необязательно конденсируют в дополнительном конденсаторе (С) и необязательно
20 возвращают в виде раствора карбамата (106) в реактор. Секция диссоциации (В) содержит, например, отпарную колонну высокого давления или, например, установку разложения среднего давления и, например, включает нагревание выходящего из реактора потока для ускорения диссоциации карбамата аммония.

В предпочтительном варианте осуществления способа получения мочевины и
25 установки по производству мочевины, изображенных на Фиг. 4 реактор (А) содержит нижнюю секцию, как изображено на Фиг. 2. В предпочтительном варианте осуществления проиллюстрированного способа получения мочевины используется конденсатор (С). В конкретном варианте осуществления секция диссоциации (В) содержит установку разложения среднего давления для нагревания выходящего из реактора потока, в частности раствора синтеза мочевины, а необязательный конденсатор (С) представляет
30 собой конденсатор среднего давления. Установка дополнительно содержит секцию извлечения низкого давления (НД), принимающую раствор мочевины из секции диссоциации (В).

Термин «как правило», используемый в настоящем документе, обозначает функции, которые часто используются, но не являются обязательными.

Используемый в настоящем документе термин «карбамат» относится к карбамату аммония.

5 Используемый в настоящем документе термин ВД (высокое давление) означает давление, например, по меньшей мере 100 Бар абс., например, от 120 до 250 Бар абс., от 110 до 160 Бар абс., СД (среднее давление) означает давление, например, от 20 до 80 Бар абс., а НД (низкое давление) указывает на давление, например, от 1 до 10 Бар абс., например, от 4 до 10 Бар абс.; эти диапазоны давления предназначены для
10 технологических растворов и не обязательно одинаковы для пара и теплоносителей. Аббревиатура «Бар абс.» означает «Бар абсолютного давления».

Используемый в настоящем документе термин «текучая среда» включает газ, жидкость и сверхкритические текучие среды и их смеси.

Как описано выше, варианты осуществления раскрытия относятся к химическому
15 реактору, содержащему зону смешивания, содержащую первый статический смеситель и второй статический смеситель, оба из которых расположены в корпусе реактора, при этом второй статический смеситель расположен дальше от указанного первого впускного отверстия, чем указанный первый статический смеситель, при этом второй статический смеситель предпочтительно приспособлен для более тщательного смешивания текучих
20 сред в реакционной смеси, чем первый статический смеситель.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Химический реактор, содержащий корпус (2) для удержания реакционной смеси, первую секцию (3) и вторую секцию (4) в указанном корпусе, первое впускное отверстие (5) для потока первой текучей среды и второе впускное отверстие (6) для потока второй текучей среды, при этом оба впускных отверстия расположены в указанной первой
5 секции, причем реактор дополнительно содержит выпускное отверстие (7) для выходящего из реактора потока, отводимого из указанной второй секции, и зону смешивания (8) в указанной первой секции реактора, приспособленную для смешивания указанных потоков первой и второй текучих сред, при этом зона смешивания (8) содержит первый статический смеситель (9) и второй статический смеситель (10), оба из которых
10 расположены в указанном корпусе, при этом второй статический смеситель расположен дальше от указанного первого впускного отверстия, чем указанный первый статический смеситель, при этом второй статический смеситель приспособлен для более тщательного смешивания текучих сред в реакционной смеси, чем первый статический смеситель.

15 2. Химический реактор по п.1, отличающийся тем, что первый статический смеситель содержит первую перегородку, расположенную поперек баллистической траектории от каждого из впускных отверстий в направлении ко второй секции, при этом указанная первая перегородка обеспечивает первую поверхность соударения для указанной первой текучей среды и указанной второй текучей среды, при этом поверхность соударения
20 выступает поперечно по направлению к проему, при этом указанный проем определяет проточный канал, позволяющий реакционной смеси проходить через первую перегородку.

3. Химический реактор по п. 1 или 2, отличающийся тем, что второй статический смеситель содержит один или большее количество смесительных элементов,
25 выполненных с возможностью направления реакционной смеси по множеству соседних проточных каналов, что обеспечивает сужение боковой площади поперечного сечения течения минимум на 50 %.

4. Химический реактор по п. 2 или 3, отличающийся тем, что первый статический
30 смеситель содержит по меньшей мере вторую перегородку, расположенную поперек баллистической траектории между проемом первого элемента и второй секцией, причем указанная вторая перегородка образует вторую поверхность соударения, которая

выступает поперечно по направлению ко второму проему, что позволяет реакционной смеси проходить через второй смесительный элемент, при этом вторая перегородка перекрывает выступ первого проема, чтобы обеспечить извилистый путь течения текучей среды через первый статический смеситель.

5

5. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что второй статический смеситель имеет множество соседних проходных каналов, которые имеют характеристический размер (d_2), который в по меньшей мере 4 раза меньше характеристического размера (d_1) каналов, содержащихся в первом статическом смесителе, при этом d_1 и d_2 соответственно определяются максимальным размером твердой сферы, которая может проходить без деформации.

6. Химический реактор по п. 5, отличающийся тем, что характеристический параметр смешивания первого статического смесителя ($M_{c,1}$) находится в диапазоне от 1 до 50, а характеристический параметр смешивания второго статического смесителя ($M_{c,2}$) находится в диапазоне от 10 до 1000, где $M_{c,1}$ и $M_{c,2}$ определяются диаметром реактора (D), который представляет собой результат деления d_1 соответственно на d_2 , и где $M_{c,2}/M_{c,1} \geq 10$.

7. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что каждый из первого статического смесителя и второго статического смесителя содержит смесительные элементы и каналы для протекания реакционной смеси через корпус, при этом каналы, содержащиеся во втором статическом смесителе, уже, чем каналы, содержащиеся в первом статическом смесителе; причем предпочтительно указанные каналы первого статического смесителя позволяют проходить сфере, которая больше максимальной сферы, которая может проходить через каналы второго статического смесителя, не соприкасаясь с указанным смесителем.

8. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что характеристический параметр смешивания (M_c) первого и второго статических смесителей составляет:

$$\frac{D}{d} = M_c$$

где D представляет собой диаметр реактора; где d представляет собой характеристический диаметр смесительного элемента статического смесителя, при этом M_c для первого статического смесителя находится в диапазоне от 1 до 50, а M_c для второй секции смешивания находится в диапазоне от 50 до 1000.

5

9. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что первый статический смеситель содержит первый смесительный элемент (11), который расположен в проекции указанных впускных отверстий в направлении течения текучей среды из указанных впускных отверстий и выполнен с возможностью направления течения потоков текучей среды в направлении, перпендикулярном указанному направлению течения, за счет удара указанных потоков текучей среды о поверхность указанного первого смесительного элемента.

10

10. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что указанный первый статический смеситель содержит дисковый элемент (11) и кольцевой элемент (12), предпочтительно, при этом указанный дисковый элемент и указанный кольцевой элемент не перфорированы.

15

11. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что второй статический смеситель содержит смесительные элементы (13) каждый из которых содержит кромку, приспособленную для разделения течения реакционной среды в реакторе на два подтечения, при этом второй статический смеситель дополнительно содержит каналы (14) для указанных подтечений, при этом указанные каналы являются коническими и сужаются в направлении течения.

20

25

12. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что указанный второй статический смеситель содержит один или большее количество слоев параллельных угловых профилей (21) направленных к указанным впускным отверстиям и содержащих боковые кромки (22а), при этом боковые кромки (22а, 22b) соседних угловых профилей находятся на расстоянии друг от друга для обеспечения протекания текучей среды через отверстия между угловыми профилями.

30

13. Химический реактор по п. 12, отличающийся тем, что указанный второй статический смеситель содержит по меньшей мере два из указанных слоев (15, 16) угловых профилей, при этом указанные слои уложены вертикально друг на друга, при этом угловые профили в вертикальных соседних слоях расположены под углом друг к другу в горизонтальной плоскости.

14. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащий газораспределитель (17), расположенный в указанной первой секции указанного корпуса ниже по потоку от указанного второго статического смесителя, при этом предпочтительно газораспределитель содержит горизонтальную перфорированную пластину (18) с кромкой с направленным вниз ободком (19); более предпочтительно расстояние по вертикали между указанным газораспределителем и указанным вторым статическим смесителем составляет менее 5 % длины реактора.

15. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что каждый из первого и второго статических смесителей изготовлен из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали.

16. Установка по производству мочевины, содержащая секцию синтеза под высоким давлением, содержащую впускное отверстие для исходного NH_3 , впускное отверстие для исходного CO_2 , и химический реактор (А) по любому из пп. 1-15 в качестве реактора синтеза мочевины, при этом указанное выпускное отверстие для потока синтеза мочевины соединено с секцией диссоциации карбамата (В), содержащей теплообменник и/или расширительный клапан, предпочтительно при этом секция диссоциации карбамата (В) содержит вертикальный кожухотрубный теплообменник с падающей пленкой, выполненный с возможностью приема раствора мочевины у верхнего впускного отверстия трубопровода.

17. Способ получения мочевины, включающий взаимодействие потока содержащего NH_3 сырья и потока содержащего CO_2 сырья с образованием карбамата аммония и дегидратацию карбамата аммония до мочевины и воды в условиях образования мочевины в химическом реакторе по любому из пп. 1-15 в качестве реактора синтеза мочевины.

18. Способ получения мочевины по п. 17, отличающийся тем, что реактор работает при давлении выше 100 Бар и выше 140 °С, и при этом как содержащее NH_3 сырье, так и содержащее CO_2 сырье вводят в реактор при давлении выше 100 Бар.

5 19. Способ смешивания, осуществляемый в химическом реакторе по любому из пп. 1-15, в котором по меньшей мере первую и вторую текучие среды смешивают в зоне смешивания, предпочтительно при давлении выше 100 Бар.

ИЗМЕНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Химический реактор, содержащий корпус (2) для удержания реакционной смеси, первую секцию (3) и вторую секцию (4) в указанном корпусе, первое впускное отверстие (5) для потока первой текучей среды и второе впускное отверстие (6) для потока второй текучей среды, при этом оба впускных отверстия расположены в указанной первой секции, причем реактор дополнительно содержит выпускное отверстие (7) для выходящего из реактора потока, отводимого из указанной второй секции, и зону смешивания (8) в указанной первой секции реактора, приспособленную для смешивания указанных потоков первой и второй текучих сред, при этом зона смешивания (8) содержит первый статический смеситель (9) и второй статический смеситель (10), оба из которых расположены в указанном корпусе, при этом второй статический смеситель расположен дальше от указанного первого впускного отверстия, чем указанный первый статический смеситель, при этом второй статический смеситель имеет множество соседних проходных каналов, которые имеют характеристический размер (d_2), который в по меньшей мере 4 раза меньше характеристического размера (d_1) каналов, содержащихся в первом статическом смесителе, при этом d_1 и d_2 соответственно определяются максимальным размером твердой сферы, которая может проходить без деформации.

2. Химический реактор по п.1, отличающийся тем, что первый статический смеситель содержит первую перегородку, расположенную поперек первой баллистической траектории от каждого из впускных отверстий в направлении ко второй секции, при этом указанная первая перегородка обеспечивает первую поверхность соударения для указанной первой текучей среды и указанной второй текучей среды, при этом первая поверхность соударения выступает поперечно по направлению к первому проему, при этом указанный первый проем определяет проточный канал, позволяющий реакционной смеси проходить через первую перегородку.

3. Химический реактор по п. 1 или 2, отличающийся тем, что второй статический смеситель содержит один или большее количество смесительных элементов, выполненных с возможностью направления реакционной смеси по множеству соседних проточных каналов, что обеспечивает сужение боковой площади поперечного сечения течения минимум на 50 %.

4. Химический реактор по п. 2, отличающийся тем, что первый статический смеситель содержит по меньшей мере вторую перегородку, расположенную поперек второй баллистической траектории между первым проемом и второй секцией, причем указанная вторая перегородка образует вторую поверхность соударения, которая выступает поперечно по направлению ко второму проему, что позволяет реакционной смеси проходить через второй смесительный элемент, при этом вторая перегородка перекрывает выступ первого проема, чтобы обеспечить извилистый путь течения текучей среды через первый статический смеситель.

5. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что характеристический параметр смешивания первого статического смесителя ($M_{c,1}$) находится в диапазоне от 1 до 50, а характеристический параметр смешивания второго статического смесителя ($M_{c,2}$) находится в диапазоне от 10 до 1000, где $M_{c,1}$ и $M_{c,2}$ определяются диаметром реактора (D), деленным на d_1 , соответственно на d_2 , и где $M_{c,2}/M_{c,1} \geq 10$.

6. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что первый статический смеситель содержит первый смесительный элемент, который расположен в проекции указанных впускных отверстий в направлении течения текучей среды из указанных впускных отверстий и выполнен с возможностью направления течения потоков текучей среды в направлении, перпендикулярном указанному направлению течения, за счет удара указанных потоков текучей среды о поверхность указанного первого смесительного элемента.

7. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что указанный первый статический смеситель содержит дисковый элемент (11) и кольцевой элемент (12), предпочтительно, при этом указанный дисковый элемент и указанный кольцевой элемент не перфорированы.

8. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что второй статический смеситель содержит смесительные элементы каждый из которых содержит кромку (13), приспособленную для разделения течения реакционной среды в реакторе на два подтечения, при этом второй статический смеситель дополнительно содержит каналы (14) для указанных подтечений, при этом указанные каналы являются коническими и сужаются в направлении течения.

9. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что указанный второй статический смеситель содержит один или большее количество слоев параллельных угловых профилей (21) направленных к указанным впускным отверстиям и содержащих боковые кромки (22a), при этом боковые кромки (22a, 22b) соседних угловых профилей находятся на расстоянии друг от друга для обеспечения протекания текучей среды через отверстия между угловыми профилями.

10. Химический реактор по п. 9, отличающийся тем, что указанный второй статический смеситель содержит по меньшей мере два из указанных слоев (15, 16) угловых профилей, при этом указанные слои уложены вертикально друг на друга, при этом угловые профили в вертикальных соседних слоях расположены под углом друг к другу в горизонтальной плоскости.

11. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащий газораспределитель (17), расположенный в указанной первой секции указанного корпуса ниже по потоку от указанного второго статического смесителя, при этом предпочтительно газораспределитель содержит горизонтальную перфорированную пластину (18) с кромкой с направленным вниз ободком (19); более предпочтительно расстояние по вертикали между указанным газораспределителем и указанным вторым статическим смесителем составляет менее 5 % длины реактора.

12. Химический реактор по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что каждый из первого и второго статических смесителей изготовлен из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали.

13. Установка по производству мочевины, содержащая секцию синтеза под высоким давлением, содержащую впускное отверстие для исходного NH_3 , впускное отверстие для исходного CO_2 , и химический реактор (А) по любому из пп. 1-12 в качестве реактора синтеза мочевины, при этом указанное выпускное отверстие предназначено для потока синтеза мочевины и соединено с секцией диссоциации карбамата (В), содержащей теплообменник и/или расширительный клапан, предпочтительно при этом секция диссоциации карбамата (В) содержит вертикальный кожухотрубный теплообменник с падающей пленкой, выполненный с возможностью приема раствора мочевины у верхнего впускного отверстия трубопровода.

14. Способ получения мочевины, включающий взаимодействие потока содержащего NH_3 сырья и потока содержащего CO_2 сырья с образованием карбамата аммония и дегидратацию карбамата аммония до мочевины и воды в условиях образования мочевины в химическом реакторе по любому из пп. 1-12 в качестве реактора синтеза мочевины.

15. Способ получения мочевины по п. 14, отличающийся тем, что реактор работает при давлении выше 100 Бар и выше $140\text{ }^\circ\text{C}$, и при этом как содержащее NH_3 сырье, так и содержащее CO_2 сырье вводят в реактор при давлении выше 100 Бар.

16. Способ смешивания, осуществляемый в химическом реакторе по любому из пп. 1-12, в котором по меньшей мере указанную первую и указанную вторую текучие среды смешивают в зоне смешивания, предпочтительно при давлении выше 100 Бар.

17. Химический реактор, содержащий корпус (2) для удержания реакционной смеси, первую секцию (3) и вторую секцию (4) в указанном корпусе, первое впускное отверстие (5) для потока первой текучей среды и второе впускное отверстие (6) для потока второй текучей среды, причем оба впускных отверстия расположены в указанной первой секции, причем реактор дополнительно содержит выпускное отверстие (7) для выходящего из реактора потока, отводимого из указанной второй секции, и зону смешивания (8) в указанной первой секции реактора, приспособленную для смешивания указанных потоков первой и второй текучих сред,

при этом зона смешивания (8) содержит первый статический смеситель (9) и второй статический смеситель (10), оба из которых расположены в указанном корпусе, при этом второй статический смеситель расположен дальше от указанного первого впускного отверстия, чем указанный первый статический смеситель,

при этом указанный первый статический смеситель содержит дисковый элемент (11) и кольцевой элемент (12),

при этом второй статический смеситель содержит смесительные элементы (13), каждый из которых содержит кромку, приспособленную для разделения течения реакционной среды в реакторе на два подтечения, причем второй статический смеситель дополнительно содержит каналы (14) для указанных подтечений, при этом указанные каналы являются коническими и сужаются в направлении течения.

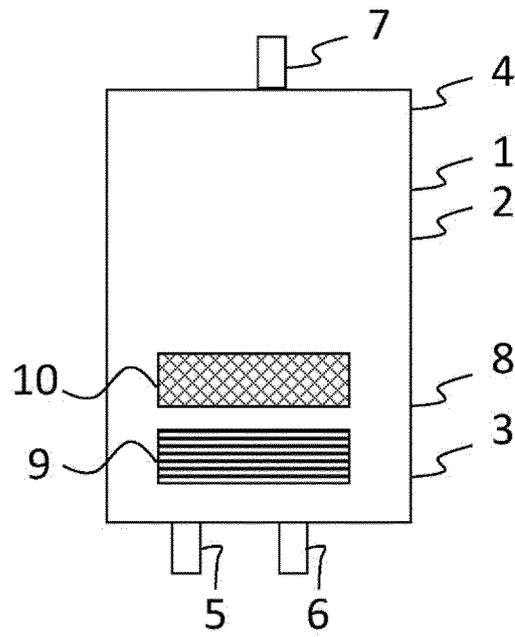
18. Химический реактор, содержащий корпус (2) для удержания реакционной смеси, первую секцию (3) и вторую секцию (4) в указанном корпусе, первое впускное отверстие (5) для потока первой текучей среды и второе впускное отверстие (6) для потока второй текучей среды, причем оба впускных отверстия расположены в указанной первой секции, причем реактор дополнительно содержит выпускное отверстие (7) для выходящего из реактора потока, отводимого из указанной второй секции, и зону смешивания (8) в указанной первой секции реактора, приспособленную для смешивания указанных потоков первой и второй текучих сред,

при этом зона смешивания (8) содержит первый статический смеситель (9) и второй статический смеситель (10), оба из которых расположены в указанном корпусе, при этом второй статический смеситель расположен дальше от указанного первого впускного отверстия, чем указанный первый статический смеситель,

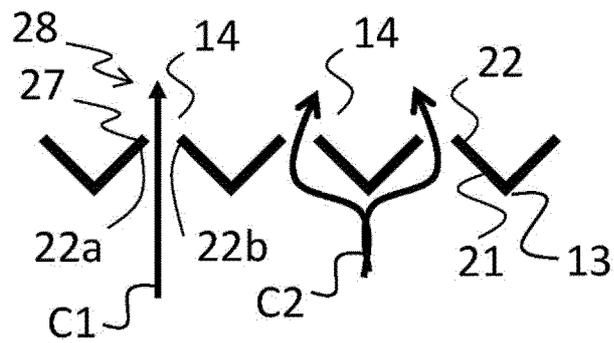
при этом каждый из первого статического смесителя и второго статического смесителя содержит смесительные элементы и каналы для протекания реакционной смеси через корпус, причем каналы, содержащиеся во втором статическом смесителе, уже, чем каналы, содержащиеся в первом статическом смесителе,

при этом первая секция занимает до 10 % длины реактора и содержит первый и второй статические смесители, а также первое и второе впускные отверстия;

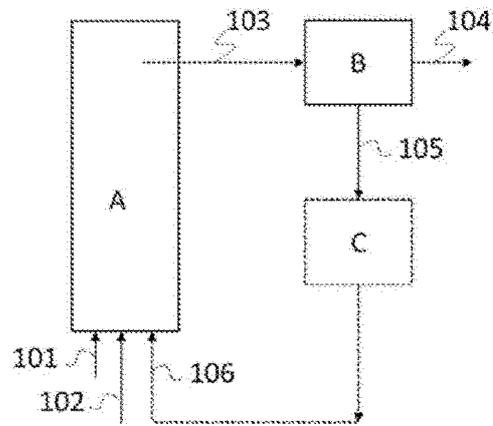
и при этом второй статический смеситель расположен ниже по потоку от первого статического смесителя относительно течения потоков первой и второй текучих сред.



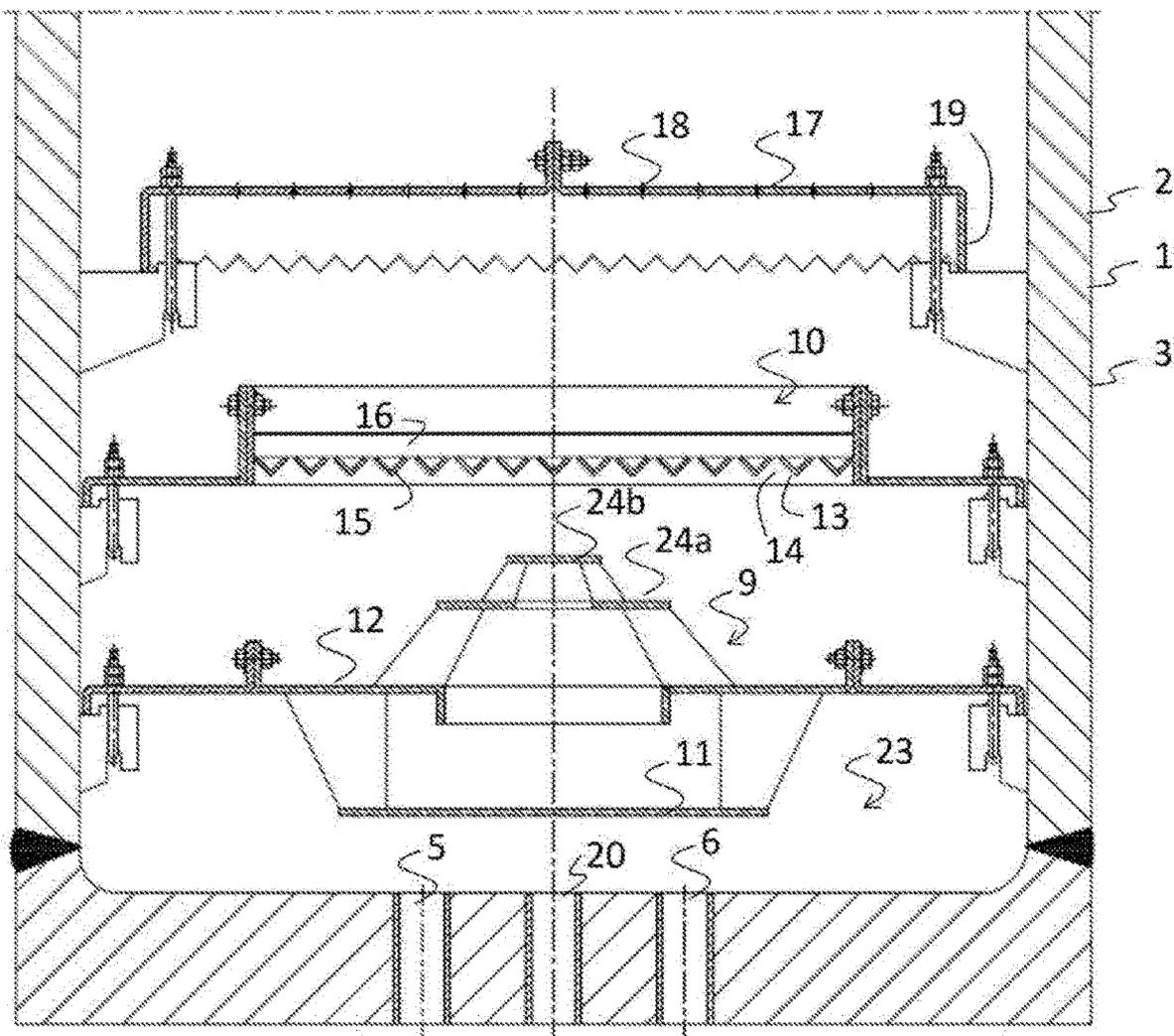
Фиг. 1



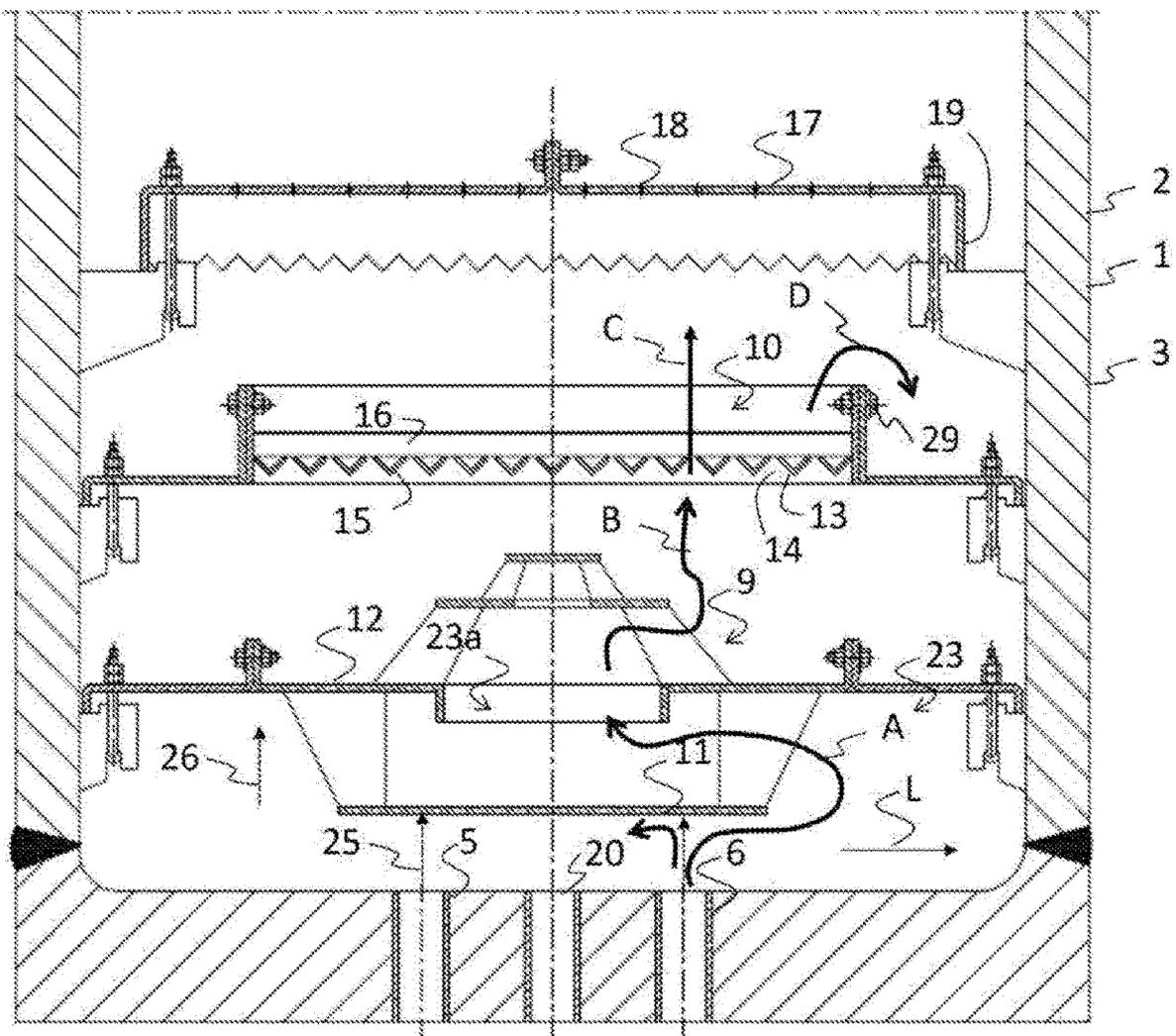
Фиг. 3



Фиг. 4



ФИГ. 2



Фиг. 2А