

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **039518**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.02.07**

(51) Int. Cl. **B01J 8/06** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202090907**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.10.25**

---

(54) **СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СМЕСИ РЕАГЕНТОВ - ВОПЛОЩЕНИЕ РЕАКТОРА**

---

(31) **17198318.2**

(56) **WO-A1-2007045457**

(32) **2017.10.25**

**US-A-3518284**

(33) **EP**

**DE-A1-19955892**

(43) **2020.09.30**

(86) **PCT/EP2018/079352**

(87) **WO 2019/081682 2019.05.02**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЛИНДЕ АКЦИЕНГЕЗЕЛЬШАФТ  
(DE)**

(72) Изобретатель:  
**Велленхофер Антон, Матьё  
Целльхубер, Шуберт Мартин, Бирк  
Роберт (DE), Пихлер Селин (FR),  
Фриц Хельмут (DE)**

(74) Представитель:  
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,  
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев  
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В.,  
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)**

---

(57) Предложен способ формирования и каталитической конверсии воспламеняющейся газовой смеси, в котором, по меньшей мере, первый газ или газовую смесь, содержащую кислород, и второй газ или газовую смесь, содержащую одно или более окисляемых соединений, смешивают для получения воспламеняющейся газовой смеси, где воспламеняющуюся газовую смесь подают в реакционную зону (12) реактора (1). Первый газ или газовую смесь и второй газ или газовую смесь подают в смесительную камеру (11), содержащую граничную стенку (13), снабженную рядом каналов (131), где первый газ или газовую смесь подают в смесительную камеру (11) через каналы (131) в граничной стенке (13), а второй газ или газовую смесь подают в смесительную камеру (11) посредством одного или более питающих трубопроводов (14), которые имеют питающие выходы (141) и проходят в смесительную камеру (11). В настоящем изобретении также предложен соответствующий реактор (1).

---

**039518**  
**B1**

**039518**  
**B1**

### Область техники

Настоящее изобретение относится к способу и установке для формирования и каталитической конверсии смеси реагентов согласно ограничительной части соответствующих независимых пунктов формулы изобретения.

### Уровень техники

В ряде химических процессов смеси реагентов подвергают каталитической конверсии. Эти смеси реагентов могут находиться в форме воспламеняющихся газовых смесей, и в этом случае их направляют на каталитическую конверсию при температуре ниже их температуры самовоспламенения. Под "воспламеняющейся газовой смесью" далее в настоящем документе понимают газовую смесь, содержащую один или более окисляемых компонентов, в особенности один или более углеводородов, и кислород. Кислород может быть добавлен, например, в форме воздуха или чистого кислорода. Воспламеняющаяся газовая смесь имеет состав, обеспечивающий воспламенение газовой смеси посредством источника воспламенения. Кроме того, как поясняется далее, в соответствующих процессах также возможно присутствие газовых смесей, которые воспламеняются только временно, например при запуске, в случае технологических отклонений и т.п. Таковую воспламеняющуюся газовую смесь, образующуюся лишь временно, также могут подавать в качестве реакционной смеси для каталитической конверсии.

Настоящее изобретение описано, помимо прочего, на примере окислительного дегидрирования (ОДГ) алканов, содержащих от двух до четырех атомов углерода, где алканы подают вместе с кислородом в качестве реакционной смеси в зону каталитической реакции реактора. Соответствующая смесь реагентов в принципе может быть воспламеняющейся. В частности, изобретение может быть использовано в ОДГ этана (называемом ОДГ-Э), но в принципе также и в ОДГ высших алканов, таких как пропан и бутан. Однако изобретение также может быть применимо и предпочтительно для других способов, в которых смеси газообразных реагентов подвергают каталитической конверсии, например, для других способах окисления, таких как синтез этиленоксида или акриловой кислоты.

ОДГ может быть предпочтительным по сравнению с более традиционными способами получения алкенов, такими как паровой крекинг или каталитическое дегидрирование. Например, отсутствуют ограничения термодинамического равновесия из-за экзотермичности участвующих реакций. В принципе, не требуется регенерации используемых катализаторов, поскольку присутствие кислорода обеспечивает регенерацию *in situ*. Наконец, по сравнению с паровым крекингом образуется меньшее количество не имеющих ценности побочных продуктов, таких как кокс.

Для получения более подробной информации, касающейся ОДГ, следует обратиться к соответствующей технической литературе, например Ivars, F. and López Nieto, J.M., *Light Alkanes Oxidation: Targets Reached and Current Challenges*, in: Duprez, D. and Cavani, F. (eds.), *Handbook of Advanced Methods and Processes in Oxidation Catalysis: From Laboratory to Industry*, London 2014: Imperial College Press, pages 767-834, или Gartner, C.A. et al., *Oxidative Dehydrogenation of Ethane: Common Principles and Mechanistic Aspects*, *ChemCatChem*, vol. 5, no. 11, 2013, pages 3196 to 3217.

В ОДГ и других способах, в которых могут образовываться воспламеняющиеся газовые смеси, по меньшей мере временно, в присутствии источника воспламенения выше по потоку от зоны каталитической реакции реактора или в указанной зоне может происходить нежелательное воспламенение. Последующее в значительной степени неконтролируемое выгорание может протекать в форме дефлаграции или детонации.

Взрыв представляет собой неконтролируемое выгорание воспламеняющейся газовой смеси с ламинарным фронтом пламени. При дефлаграции возникает турбулентный фронт пламени. Взрывы и дефлаграции, с одной стороны, и детонации, с другой стороны, существенно различаются по скорости распространения. При взрыве или дефлаграции указанная скорость ниже скорости звука, а при детонации указанная скорость обычно заметно превышает скорость звука. После определенного начального периода и при минимальной концентрации топлива и кислорода взрыв или дефлаграция могут превратиться в детонацию. Взрыв, дефлаграция и детонация газовых смесей приводят к существенному повышению давления, что может привести к разрыву используемых компонентов установки и соответствующему вторичному разрушению.

В случае взрыва или дефлаграции стехиометрической смеси алканов, алкенов и воздуха может наблюдаться повышение давления в 10 раз, а в случае взрыва или дефлаграции стехиометрической смеси алканов, алкенов и кислорода происходит повышение давления в 20 раз. В случае детонации происходит гораздо больший рост давления.

Где далее описан взрыв, соответствующие разъяснения также распространяются на дефлаграцию. Соответственно, "взрывостойкие" устройства или противовзрывные меры также обеспечивают защиту от дефлаграции.

Можно полностью избежать соответствующих смешанных состояний, т.е. образования воспламеняющихся газовых смесей, и в этом контексте принять меры, позволяющие надежно предотвращать образование воспламеняющихся газовых смесей даже в ходе пуска и остановки, а также в случае технологических отклонений. Кроме того, можно проводить соответствующие способы при низком давлении и эксплуатировать используемые установки взрывостойким и, возможно, даже стойким к детонации спо-

собом. В этой связи альтернативно или дополнительно можно использовать меры безопасности или средства рассеивания, например разрывные мембраны или противозрывные заслонки.

Однако в принципе, в отношении характеристик конверсии, ассортимента продуктов и селективности и/или с точки зрения последующей переработки продукта, каталитическая конверсия воспламеняющейся газовой смеси в качестве смеси реагентов может быть предпочтительной или обязательной. Поэтому в таких случаях избежать образования воспламеняющихся газовых смесей невозможно или, по крайней мере, невыгодно по указанным причинам. Взрыво- или детонационно-стойкая конструкция установок или предоставление соответствующих мер или средств рассеивания приводит к дополнительным затратам.

Проблема, решаемая изобретением, заключается в определении мер, позволяющих надежно обеспечить формирование и возможно каталитическую конверсию соответствующих газовых смесей, которые могут, по меньшей мере временно, находиться в воспламеняемом состоянии, без нежелательного воспламенения и последующего взрыва/дефлаграции или детонации.

#### **Описание изобретения**

Ввиду вышеизложенного, в настоящем изобретении предложен способ и реактор для каталитической конверсии смеси газообразных реагентов и соответствующая установка, характеризующиеся признаками независимых пунктов формулы изобретения. Воплощения способа и установки указаны в зависимых пунктах формулы изобретения и нижеследующем описании.

Настоящее изобретение основано на способе формирования и каталитической конверсии смеси газообразных реагентов, в котором по меньшей мере один первый газ или газовую смесь и второй газ или газовую смесь смешивают для получения смеси реагентов. Для каталитической конверсии смеси реагентов ее подают в реакционную зону реактора.

Примеры каталитической конверсии уже упомянуты выше. Как уже отмечено, способ по изобретению особенно пригоден для использования в реакторах ОДГ(-Э) или соответствующих способах, в которых в реакционную зону реактора подают газовую смесь, содержащую алканы и кислород, в качестве реакционной смеси. Однако, как уже отмечено, настоящее изобретение, можно также применять, например, в указанных выше других способах или во всех способах, в которых смеси газообразных реагентов подвергают каталитической конверсии и воспламеняемость не может или не должна быть исключена с самого начала.

В принципе, реакционная зона по настоящему изобретению может быть снабжена любыми необходимыми катализаторами, особенно в иммобилизованной форме. Например, в настоящем изобретении можно использовать катализаторы в неподвижном слое, катализаторы ячеистой структуры или каталитически активные тела в виде нагреваемых и/или охлаждаемых извне трубок. Например, в случае трубчатого реактора реакционные трубки заполнены катализатором. Они проходят через камеру реактора и их нагревают или охлаждают в ней. С помощью соответствующих распределительных устройств воспламеняющуюся газовую смесь распределяют между отдельными реакционными трубками, как это также пояснено далее.

Если в данном документе указано, что газообразную смесь реагентов формируют и подвергают каталитической конверсии или эту газовую смесь подают в реакционную зону реактора, то это не обязательно означает, как уже пояснялось вначале, что воспламеняющуюся газовую смесь в качестве смеси реагентов необходимо постоянно формировать и подвергать конверсии в течение всего способа. Более конкретно, в контексте настоящего изобретения также может происходить формирование воспламеняющихся газовых смесей только в определенные моменты времени, т.е., например, при запуске соответствующего реактора или при переключении между различными режимами работы или в случае эксплуатационных отклонений. В обычном режиме работы, напротив, в реакционную зону также можно подавать, например, негорючую газовую смесь в качестве реакционной смеси. И наоборот, негорючую смесь можно также пропускать только вблизи выбранной рабочей точки или в указанной точке, в то время как негорючие условия выбирают при запуске или при изменении рабочих условий, например, посредством повышенного разбавления инертными газами.

Воспламеняемость соответствующей газовой смеси определяется ее составом, в особенности содержанием в ней окисляемых соединений и кислорода. Более конкретно, соответствующая воспламеняющаяся газовая смесь содержит углеводороды, такие как алканы, в случае ОДГ. Наряду с первой и второй газовыми смесями также возможно в настоящем изобретении использовать и смешивать дополнительные газовые смеси.

Более конкретно, в настоящем изобретении первый газ или газовая смесь могут содержать одно или более окисляемых соединений, в особенности алканы или алкены. Второй газ или газовая смесь может содержать в первую очередь кислород. В принципе, также возможен случай, когда первый газ или газовая смесь содержит кислород, а второй газ или газовая смесь содержит одно или более окисляемых соединений. Газ или газовая смесь, содержащая кислород, в каждом случае может содержать чистый кислород, воздух или обогащенный кислородом воздух или их смесь. В общем, оба газа, независимо от источника кислорода, могут содержать дополнительные разбавители, которые являются инертными или имеют низкую реакционную способность, например водяной пар, азот, метан, диоксид углерода или дру-

гие компоненты. Термин "инертный" относится к реакционной способности соответствующих соединений в соответствующей реакционной системе и не ограничивается соединениями, которые традиционно называют "инертными", например инертными газами азотом, гелием или аргоном.

В принципе, также возможно в настоящем изобретении обеспечивать первый газ и/или газовую смесь и/или второй газ или газовую смесь уже в виде газа или газовой смеси, которая содержит одно или более окисляемых соединений и одновременно кислород. Таким образом, при необходимости, возможно улучшить смешиваемость первого и второго газа или газовой смеси. Даже когда, например, первую или вторую газовую смесь полностью или частично подают в виде рециркуляционного потока, она может также содержать кислород и одно или более окисляемых соединений. В отличие от реакционной смеси, образованной с использованием первого газа или газовой смеси и второго газа или газовой смеси, однако в такой первой или второй газовой смеси при необходимости возможно обеспечить невоспламеняемость в любое время.

Затем согласно настоящему изобретению первый газ или газовую смесь и второй газ или газовую смесь подают в смесительную камеру, содержащую граничную стенку, снабженную рядом каналов, где первую газовую смесь подают в смесительную камеру через каналы в граничной стенке, а второй газ или газовую смесь подают в смесительную камеру посредством одного или более питающих трубопроводов, которые имеют питающие выходы и проходят в смесительную камеру.

Согласно настоящему изобретению первый газ или газовую смесь подают в смесительную камеру через каналы в граничной стенке в состоянии потока или в режиме потока, который является критическим (с точки зрения гидродинамики потока). Критическое состояние потока или режим потока существует тогда, когда первый газ или газовая смесь выходит из каналов в граничной стенке и входит в смесительную камеру со скоростью звука в первом газе или газовой смеси, т.е. когда число Маха  $Ma$  равно 1. В отношении термина "критический поток" можно обратиться к подходящей литературе, например Frenzel, B. and Gebhard, F., Physik Formelsammlung: Für Ingenieure und Naturwissenschaftler, page 78. Расчет звука в идеальном газе известен и может быть взят для неидеальных газов из специальной литературы.

Соответствующее критическое состояние потока может быть установлено, в частности, путем подходящего выбора количества и диаметра каналов в граничной стенке и соответствующих параметров потока первого газа или газовой смеси, особенно их давления выше по потоку от граничной стенки. Соответствующие параметры могут быть определены непосредственно специалистом в данной области техники, например, исходя из расчетов динамики потока или моделирования.

Если первый газ или газовую смесь подают в смесительную камеру в критическом состоянии потока таким образом, то можно гарантировано избежать обратного потока из смесительной камеры в область выше по потоку от смесительной камеры или граничной стенки. Таким образом, воспламеняющаяся газовая смесь не может образовываться в соответствующей области выше по потоку или распространяться в соответствующую область выше по потоку. Таким образом, при соблюдении соответствующих мер безопасности такая область выше по потоку не должна образовываться, что позволяет осуществлять установку соответствующего реактора с меньшими затратами.

В US 7521029 B2 описан трубчатый реактор для проведения каталитических газофазных реакций, где отдельные компоненты установки, вступающие в контакт со смесью реагентов, имеют взрывостойкую конструкцию. Компоненты установки такого рода имеют очень малый объем, поэтому сложность устройства во взрывозащищенной конструкции может быть ограничена. Однако более конкретно в этом документе не раскрыто, как это предусмотрено в настоящем изобретении, предоставление смесительной камеры с граничной стенкой, снабженной каналами, и подача газовой смеси в смесительную камеру через каналы в соответствующей граничной стенке. В частности, в этом документе также не раскрыта подача потока в критическом состоянии. В отличие от указанного US 7521029 B2, в настоящем изобретении, напротив, сложность устройства может быть заметно снижена благодаря тому, что только соответствующую граничную стенку устанавливают в реакторе.

Таким образом, настоящее изобретение обеспечивает возможность надежного проведения каталитических реакций путем формирования газовой смеси, которая может быть воспламеняющейся только непосредственно перед реакционной зоной, и ограничения ее определенной областью, а именно указанной смесительной камерой (и возможно расположенной ниже по потоку реакционной зоной). Другими словами, в настоящем изобретении зона смешивания, т.е. область, в которой реакционноспособный компонент реакционного потока смешивают с окислителем, вплоть до начала реакционной зоны минимизируют технически простыми и недорогими средствами до размеров, некритичных с точки зрения безопасности. Таким образом, более конкретно, область, в которой присутствует соответствующая воспламеняющаяся газовая смесь, например, может быть сконструирована простым способом во взрыво- или детонационно-стойком исполнении или снабжена соответствующими средствами рассеивания без необходимости соответствующего конструирования реактора в целом.

Во-первых, далее в данном документе подробно описаны аспекты и воплощения способа, предложенного по изобретению. Затем, в частности, описано устройство для осуществления способа по изобретению со ссылкой на реактор и его предпочтительные воплощения. Очевидно, что пояснения, относя-

щиеся в каждом случае к способу по изобретению и его воплощениям, в равной степени применимы и к реактору согласно изобретению и его воплощениям, и не приведены в данном документе повторно только для того, чтобы избежать повторения. В принципе, как поясняется, первый газ или газовая смесь или второй газ или газовая смесь могут быть кислородсодержащей газовой смесью, и соответствующая другая газовая смесь может быть газовой смесью, содержащей один или более окисляемых компонентов. Предпочтительно среду или газ или газовую смесь с постоянным и более высоким расходом направляют через граничную стенку или ее каналы.

В особенно предпочтительном воплощении способа по изобретению дополнительно для подачи первого газа или газовой смеси в смесительную камеру в критическом состоянии потока первый газ или газовую смесь предоставляют со стороны граничной стенки, удаленной от смесительной камеры, при более высоком давлении, чем давление в смесительной камере. Таким путем достигают дополнительной защиты от обратного смешивания в области выше по потоку. В целом, меры по изобретению также обеспечивают равномерное распределение первого газа или газовой смеси в смесительной камере.

С помощью соответствующих технических мер, в частности, как также разъясняется далее применительно к конструкции реактора, предусмотренного в соответствии с изобретением, и его воплощений, можно достичь соответствующего критического состояния потока, в особенности также с помощью подходящего выбора каналов, которые, в частности, могут принимать форму сопел. Преимущества достигаются посредством использования сопел Вентури или сопел с характеристиками Вентури. Особых преимуществ также достигают посредством использования сопел Лавалья или сопел с характеристиками Лавалья.

Особых преимуществ достигают тогда, когда второй газ или газовую смесь смешивают в смесительной камере с первым газом или газовой смесью, например, с помощью трубчатого распределителя. Газообразную смесь реагентов можно сформировать в области смешивания, ограниченной таким образом. Второй газ или газовую смесь предпочтительно подают путем подачи второго газа или газовой смеси в смесительную камеру с более высокой скоростью, чем скорость ламинарного или турбулентного пламени воспламеняемой газовой смеси и/или в критическом состоянии потока. Скорости потока или характеристики потока такого рода, а также сопла, трубчатые распределители и т.п., которые требуются для этой цели, также могут быть определены специалистом в данной области, например, путем моделирования потока или расчетов.

Реактор, предусмотренный в соответствии с изобретением, установлен для формирования и каталитической конверсии газообразной смеси реагентов, причем реактор содержит реакционную зону, и он установлен для смешивания по меньшей мере одного первого газа или газовой смеси и одного второго газа или газовой смеси для получения смеси реагентов и подачи ее в реакционную зону. Согласно изобретению, реактор содержит смесительную камеру, имеющую граничную стенку, содержащую ряд каналов, где обеспечены средства, установленные для подачи первого газа или газовой смеси в смесительную камеру через каналы в критическом состоянии потока. Что касается средств, предусмотренных для установления критического состояния потока, они поясняются выше и ниже. Кроме того, для подачи второго газа или газовой смеси в смесительную камеру предусмотрен один или более питающих трубопроводов, которые имеют питающие выходы и проходят в смесительную камеру. Что касается признаков и преимуществ соответствующего реактора, можно сослаться на приведенные выше разъяснения, относящиеся к способу, предлагаемому в соответствии с изобретением.

В простейшем случае каналы через граничную стенку могут быть хотя бы частично выполнены в виде цилиндрических отверстий. Такое исполнение можно реализовать особенно простым путем, но может потребоваться большой перепад давления между областью, расположенной выше по потоку от смесительной камеры, и самой смесительной камерой, чтобы обеспечить критическое состояние потока первого газа или газовой смеси. Поэтому такое решение является вариантом, особенно подходящим для случая, когда соответствующий первый газ или газовая смесь находятся при сравнительно высоком давлении и должны быть поданы в реакционную зону при сравнительно низком давлении.

В альтернативном воплощении настоящего изобретения каналы, напротив, по меньшей мере частично, выполнены в виде сопел, причем отличительным признаком сопла является то, что оно имеет поперечное сечение, изменяющееся вдоль оси сопла. Соответствующее сопло может быть, в частности, выполнено в съемном исполнении и может быть ввинчено, например, в граничную стенку или закреплено в ней каким-либо другим способом. По сравнению с цилиндрическим отверстием, сопло обеспечивает регулируемое воздействие на поток. Таким путем в особенности возможно достичь того, чтобы даже в случае относительно небольшого перепада давления между областью выше по потоку от смесительной камеры и самой смесительной камерой можно было обеспечить критическое состояние потока.

В особенно предпочтительном воплощении настоящего изобретения соответствующим соплам, по меньшей мере частично, придают форму сопел, имеющих характеристики Вентури или Лавалья, т.е. сопел, имеющих поперечное сечение, которое сначала сужается, а затем расширяется с постоянным переходом от одной части к другой. Поперечное сечение преимущественно круглое или эллиптическое в каждой точке. Использование сопел, имеющих характеристики Вентури или Лавалья, или сопел Вентури или Лавалья снижает перепад давления, необходимый между областью выше по потоку и смесительной

камерой, в особенно высокой степени, так что перепад давления, необходимый для обеспечения критического состояния потока, является исключительно малым.

В особенно предпочтительном воплощении настоящего изобретения смесительная камера может быть снабжена неструктурированной насадкой, которая, в частности, находится в инертной форме, но также может быть уже каталитически активной. Таким путем масса реакционноспособного газа в соответствующей смесительной камере уменьшается, а инертная масса увеличивается. С помощью соответствующей неструктурированной насадки энергия зарождающегося взрыва может быть отведена, так что возгорание будет погашено. Таким образом, требуемое расчетное давление может быть значительно снижено, и соответственно герметичный корпус может быть сконструирован с меньшими затратами.

Вместо инертной неструктурированной насадки можно также обеспечить структурированную насадку и/или статический перемешивающий элемент для той же цели. Также возможно посредством теплоемкости структурированной насадки или статического перемешивающего элемента извлекать энергию зарождающегося взрыва. Структурированная насадка, которая может быть сформирована, например, из соответствующих структурированных металлических листов, или статический перемешивающий элемент предпочтительно могут быть расположены только в части смесительной камеры, в особенности только ниже по потоку от питающих трубопроводов для второй газовой смеси или их отверстий в смесительной камере. С помощью структурированной насадки или статического перемешивающего элемента дополнительно можно добиться улучшенного смешивания первой и второй газовых смесей в смесительной камере или соответствующей области.

Как уже было показано, один или более питающих трубопроводов, проходящих в смесительную камеру и имеющих питающие выходы для второго газа или газовой смеси, могут преимущественно иметь форму трубчатых распределителей. Таким путем можно добиться равномерного распределения второго газа или газовой смеси в первом газе или газовой смеси или в смесительной камере.

В настоящем изобретении соответствующая смесительная камера предпочтительно имеет цилиндрическую внутреннюю часть, где одна из поверхностей с круглым поперечным сечением цилиндрической внутренней части образована указанной граничной стенкой. Эта цилиндрическая внутренняя часть предпочтительно не сужается на конус, проходя от граничной стенки в направлении реакционной зоны, или не претерпевает никаких изменений в поперечном сечении, так что соответствующая реакционная зона может быть реализована технически простым способом в известных реакторах.

Другая поверхность с круглым поперечным сечением цилиндрической внутренней части предпочтительно образована другой граничной стенкой, содержащей каналы, где другая граничная стенка отделяет зону реакции от смесительной камеры. Другая граничная стенка может предпочтительно представлять трубную решетку, от которой отходят реакционные трубки, заполненные катализатором. Обе граничные стенки могут быть выполнены технически простым и не усложненным способом в виде дисков, которые могут быть установлены в цилиндрический внешний корпус соответствующего реактора.

Смесительная камера может быть предпочтительно ограничена таким образом, что указанные две граничные стенки прикреплены друг к другу, например, с помощью шпилек, на определенном расстоянии, которое определяет размер смесительной камеры. Соответствующие шпильки могут быть предпочтительно привинчены к одной из граничных стенок и приварены к другой. Таким путем соответствующий реактор может быть сконструирован таким образом, что он может быть полностью демонтирован. Таким образом, две граничные стенки в случае предполагаемого взрыва, действующего симметрично и одновременно на граничные стенки, могут поддерживать друг друга таким образом, что можно обойтись без дополнительных средств поддержки или уменьшить их размеры.

Особенно предпочтительно смесительная камера, используемая в настоящем изобретении, выполнена во взрывостойком исполнении. Благодаря значительно уменьшенной по объему области смешивания, соответствующая взрывостойкая конструкция может быть реализована особенно простым и недорогим способом. Альтернативно или дополнительно к взрывостойкой конструкции можно использовать средства рассеивания, например разрывные мембраны или противовзрывные заслонки.

В частности, область между указанными граничными стенками в настоящем изобретении может быть уменьшена менее чем до одного метра, предпочтительно менее чем до полуметра.

В целом, меры, предложенные в настоящем изобретении, позволяют достичь уменьшения горючей газовой смеси, образующейся регулярным образом или в случае технологических отклонений, до очень небольшого объема. Последствия нежелательного воспламенения ограничивают этим небольшим объемом. В силу ограничения до малого объема, максимум, что может произойти - это взрыв; переход в детонацию предотвращают. Небольшой объем в форме смесительной камеры может быть сконструирован таким образом, чтобы быть устойчивым к давлению взрыва, так что работа не будет существенно нарушена каким-либо взрывом. Способ согласно изобретению также может быть осуществлен при более высоких давлениях в системе и высоких концентрациях реагентов. Например, в отличие от решения, предложенного в EP 1292382 B1, в котором струйное распыление в отдельные реакционные трубки осуществляют индивидуально, способ согласно изобретению или соответствующий реактор может быть выполнен или смонтирован технически простым способом.

Далее изобретение поясняется подробно со ссылкой на прилагаемые чертежи, которые иллюстри-

руют предпочтительные воплощения настоящего изобретения.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 представлен реактор по одному воплощению изобретения в сильно упрощенном неполном виде;

на фиг. 2 - граничные стенки смесительной камеры реактора по одному воплощению изобретения в сильно упрощенном неполном виде.

На чертежах одинаковые элементы имеют одинаковые номера позиций и для ясности не описаны повторно.

#### **Подробное описание чертежей**

На фиг. 1 представлен реактор по одному воплощению настоящего изобретения в сильно упрощенном неполном виде, который обозначен как 1 в целом. Реактор 1 показан в продольном сечении. Реактор 1 содержит смесительную камеру 11 и реакционную зону 12, каждая из которых имеет цилиндрическую форму и центральную ось А.

Смесительная камера 11 отделена граничной стенкой 13 от области 10, расположенной выше по потоку, из которой первый газ или газовая смесь, как показано на чертеже стрелкой, протекает в направлении граничной стенки. Что касается природы первого газа или газовой смеси, можно сослаться на приведенные выше пояснения. Первый газ или газовая смесь протекает через каналы 131, которые могут предпочтительно иметь форму сопел, особенно предпочтительно сопел Лавалья или сопел с характеристиками Лавалья, в смесительную камеру 11. Подачу осуществляют в критическом состоянии потока, как указано выше.

Для подачи второго газа или газовой смеси, в отношении которых также можно сослаться на указанные выше разъяснения, предусмотрены один или более питающих трубопроводов 14 с питающими выходами 141, проходящих в смесительную камеру 11. Как указано, второй газ или газовую смесь также можно подавать в критическом состоянии потока.

Смесительная камера 11 также ограничена другой граничной стенкой 15, содержащей каналы 151, которая в приведенном примере представляет собой трубную решетку, с которой могут быть соединены реакционные трубки 16, которые могут быть предпочтительно заполнены подходящим катализатором. Указанные элементы также ограничены сегментами внешнего корпуса 17a-17d, которые определяют цилиндрическое поперечное сечение реактора 1 вокруг центральной оси А.

На фиг. 2 представлены граничные стенки 13, 15 реактора в одном воплощении настоящего изобретения на сильно упрощенном неполном виде. Дополнительные подробности уже описаны в связи с фиг. 1. В частности, на фиг. 2 проиллюстрировано, как такие граничные стенки 13, 15 могут быть закреплены на определенном расстоянии друг от друга с помощью шпилек 18, которые в представленном примере приварены к граничной стенке 15 и привинчены к граничной стенке 13.

#### **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Способ формирования и каталитической конверсии газообразной смеси реагентов, в котором первый газ или газовую смесь и второй газ или газовую смесь смешивают с получением смеси реагентов и затем подают в реакционную зону (12) реактора (1), отличающийся тем, что реакционную смесь, по меньшей мере временно, формируют в виде воспламеняющейся газовой смеси и первый газ или газовую смесь и второй газ или газовую смесь подают в смесительную камеру (11), содержащую граничную стенку (13), снабженную рядом каналов (131), где первый газ или газовую смесь подают в смесительную камеру (11) через каналы (131) в критическом состоянии потока, а второй газ или газовую смесь подают в смесительную камеру (11) посредством одного или более питающих трубопроводов (14), которые имеют питающие выходы (141) и проходят в смесительную камеру (11).

2. Способ по п.1, в котором первый газ или газовую смесь подают со стороны граничной стенки (13), обращенной от смесительной камеры (11), с более высоким давлением, чем давление в смесительной камере (11).

3. Способ по п.1 или 2, в котором второй газ или газовую смесь подают в смесительную камеру (11) с более высокой скоростью, чем скорость ламинарного или турбулентного пламени воспламеняющейся газовой смеси и/или в критическом состоянии потока.

4. Реактор (1) для формирования и каталитической конверсии газообразной смеси реагентов, который содержит реакционную зону (12) и предназначен для смешивания по меньшей мере одного первого газа или газовой смеси и одного второго газа или газовой смеси для получения смеси реагентов и подачи ее в реакционную зону (12), отличающийся тем, что он предназначен для формирования реакционной смеси, по меньшей мере временно, в виде воспламеняющейся смеси, и он содержит смесительную камеру (11), содержащую граничную стенку (13), снабженную рядом каналов (131), где каналы (131) выполнены, по меньшей мере частично, в виде сопел, имеющих характеристики Вентури или Лавалья, где средства, установленные для подачи первого газа или газовой смеси в смесительную камеру (11) через каналы (131), обеспечивают критическое состояние потока, и при этом для подачи второго газа или газовой смеси в смесительную камеру (11) предусмотрен один или более питающих трубопроводов (14), которые

имеют питающие выходы (141) и проходят в смесительную камеру (11).

5. Способ по любому из пп.1-3, в котором используют реактор (1) по п.4, в котором каналы (131) выполнены, по меньшей мере частично, в форме цилиндрических отверстий.

6. Способ по любому из пп.1-3, в котором используют реактор (1) по п.4, в котором каналы (131) выполнены, по меньшей мере частично, в форме сопел.

7. Способ по п.6, в котором в используемом реакторе (1) каналы (131) в форме сопел, по меньшей мере частично, обладают характеристиками Вентури или Лаваля.

8. Способ по п.6 или 7, в котором в используемом реакторе (1) каналы (131) в форме сопел являются, по меньшей мере частично, съемными.

9. Способ по любому из пп.1-3 или 5-8, в котором в используемом реакторе (1) смесительная камера (11) снабжена неструктурированной насадкой и/или структурированной насадкой, обладающей статическим перемешивающим действием, и/или другим перемешивающим устройством.

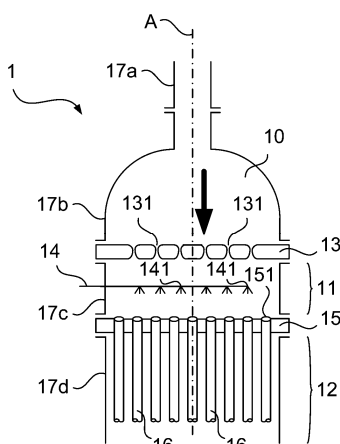
10. Способ по любому из пп.1-3 или 5-9, в котором в используемом реакторе (1) один или более питающих трубопроводов (14) имеют питающие выходы (141) в форме трубчатых распределителей.

11. Способ по любому из пп.1-3 или 5-10, в котором в используемом реакторе (1) смесительная камера (11) имеет цилиндрическую внутреннюю часть, в которой поверхность с круглым поперечным сечением образована указанной граничной стенкой (13).

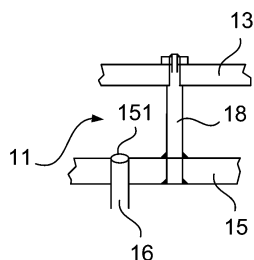
12. Способ по п.11, в котором в используемом реакторе (1) другая поверхность с круглым поперечным сечением цилиндрической внутренней части образована другой граничной стенкой (15), содержащей каналы (151), где другая граничная стенка (15) отделяет реакционную зону (12) от смесительной камеры (11).

13. Способ по п.12, в котором в используемом реакторе (1) граничные стенки (13, 15) прикреплены друг к другу с помощью шпилек на определенном расстоянии.

14. Способ по любому из пп.1-3 или 5-13, в котором в используемом реакторе (1) смесительная камера (11) имеет взрывостойкое исполнение.



Фиг. 1



Фиг. 2

