

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036290**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.10.22

(51) Int. Cl. **B01J 19/00** (2006.01)

(21) Номер заявки
201690105

(22) Дата подачи заявки
2014.06.26

(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ ДЛЯ БЫСТРОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОТОКА**

(31) **61/841,258; 61/841,272**

(56) US-A-5219530
US-A1-20040068137
KR-A-1020030067241
JP-A-2004101060
EP-A1-0045062

(32) **2013.06.28**

(33) **US**

(43) **2016.09.30**

(86) **PCT/US2014/044317**

(87) **WO 2014/210297 2014.12.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЮОП ЛЛК (US)

(72) Изобретатель:
**Шейф Питер, Саггар Азиз, Мостофи-
Аштиани Мохаммад Реза, Леонард
Лаура Э., Гаттупалли Раджесвар (US)**

(74) Представитель:
Воробьева Е.В., Фелицына С.Б. (RU)

(57) Описаны система и способ для охлаждения высокотемпературных газов. Система быстрого охлаждения содержит участок, имеющий форму усеченной пирамиды или конуса, входное отверстие на меньшем конце участка быстрого охлаждения и выходное отверстие на большем конце участка быстрого охлаждения. Указанная система содержит распылительные форсунки с выпускными отверстиями, расположенными вровень со стенкой участка быстрого охлаждения. Способ включает распыление большого объема жидкости в виде небольших капель для интенсивной передачи теплоты и испарения охлаждающей жидкости.

B1

036290

036290

B1

По настоящей заявке испрашивается приоритет согласно предварительным заявкам на патент США №№ 61/841258 и 61/841272, которые были поданы 28.06.2013, содержание которых полностью включено в настоящее описание посредством ссылки.

Область техники, к которой относится изобретение

Описаны система и способ для быстрого охлаждения горячих текучих сред в реакторе, в частности для быстрого охлаждения горячего потока, выходящего из сверхзвукового проточного реактора.

Уровень техники

В нефтехимической промышленности значительная часть мирового спроса приходится на материалы, содержащие легкие олефины, включающие этилен и пропилен. Легкие олефины используют при производстве многочисленных химических продуктов посредством полимеризации, олигомеризации, алкилирования и других хорошо известных химических реакций. Эти легкие олефины являются важными компонентами для современной нефтехимической и химической промышленности. В связи с этим производство больших количеств материала, содержащего легкие олефины, экономичным способом является важной задачей в нефтехимической промышленности. Основным источником этого материала в современной нефтепереработке является паровой крекинг нефтяного сырья.

Крекинг углеводородов, осуществляемый путем нагревания исходного сырья в печи, давно используется для производства полезных продуктов, включающих, например, олефиновые продукты. В частности, этилен, который относится к более важным продуктам в химической промышленности, может быть произведен путем пиролиза исходного сырья в интервале от легких парафинов, таких как этан и пропан, до тяжелых фракций, таких как нефть. Обычно более легкое исходное сырье позволяет получить более высокий выход этилена (50-55% в случае использования в качестве сырья этана по сравнению с 25-30% при использовании в качестве сырья нефти). Однако при выборе используемого сырья определяющим фактором является, прежде всего, его стоимость. В течение многих лет крекинг нефти служит крупнейшим источником получения этилена, после которого следует отметить пиролиз, крекинг или дегидрогенизацию этана и пропана. Вследствие значительной потребности в этилене и других легких олефиновых материалах стоимость указанных традиционных типов сырья непрерывно возрастает.

Потребление энергии является другим фактором, влияющим на стоимость производства химических продуктов методом пиролиза из различного типа исходного сырья. В течение нескольких прошлых десятилетий были достигнуты значительные усовершенствования в части повышения эффективности процесса пиролиза, что уменьшило производственные затраты. В типичной или традиционной пиролизной установке исходное сырье проходит через множество труб теплообменника, в которых оно нагревается до температуры пиролиза за счет внешнего подвода теплоты от продуктов сгорания нефтяного топлива или природного газа и воздуха. Одним из более важных этапов, проведенных для минимизации производственных затрат, было снижение времени пребывания сырья в трубах теплообменника, размещенного в пиролизной печи. Снижение времени пребывания сырья в трубах теплообменника повышает выход желаемого продукта и в то же время уменьшает образование тяжелых побочных продуктов, которые имеют тенденцию осажаться на стенках труб для пиролиза. Однако в традиционных процессах пиролиза остается мало возможностей для снижения времени нахождения сырья в теплообменнике или общего потребления энергии.

Предпринятые в последнее время попытки уменьшить затраты на производство легких олефинов включали использование альтернативных процессов и/или сырьевых потоков. Согласно одному предложению в качестве альтернативного сырья для производства продуктов, содержащих легкие олефины, используются оксигенаты из углеводородов и, в частности, метанол или диметиловый эфир (DME). Оксигенаты могут быть получены из доступных материалов, таких как уголь, природный газ, утилизированные полимерные материалы (пластмассы), потоки различных углеродсодержащих отходов из промышленных предприятий, а также различные продукты и побочные продукты сельскохозяйственного производства. Производство метанола и других оксигенатов из этих типов сырьевого материала хорошо разработано и обычно включает один или большее число общеизвестных процессов, таких как производство синтетического газа с использованием никелевого или кобальтового катализатора на стадии парового риформинга, после которой проводят стадию синтеза метанола при относительно высоком давлении с использованием катализатора на основе меди.

Технологический процесс, проводимый непосредственно после образования оксигенатов, включает каталитическую конверсию оксигенатов, таких как метанол, в желаемые легкие олефины в процессе конверсии оксигената в олефин (ОТО). Методы конверсии оксигенатов, в частности метанола в легкие олефины (МТО), раскрыты в патентном документе US 4387263, в котором описан процесс получения легких олефинов с использованием зоны каталитической конверсии, содержащей цеолитный катализатор, подобный ZSM-5. С другой стороны, в патентных документах US 5095163, US 5126308 и US 5191141 описан технологический процесс конверсии МТО, в котором в качестве материала для катализатора используется нецеолитное молекулярное сито, в частности молекулярное сито из алюмофосфатов металлов (ELAPO). Процессы ОТО и МТО, хотя они и эффективные, используют косвенный способ образования желаемого углеводородного продукта, осуществляемый посредством первоначального превращения сырья в оксигенат и последующей конверсии оксигената в углеводородный продукт. Этот непрямой путь

производства часто связан с потерями энергии и увеличением производственных затрат, что в большинстве случаев уменьшает преимущество, достигаемое за счет использования менее дорогостоящего сырьевого материала.

В последнее время были предприняты попытки использования пиролиза для конверсии природного газа в этилен. В документе US 7183451 описано нагревание природного газа до температуры, при которой некоторая его часть превращается в водород и углеводородный продукт, такой как ацетилен и этилен. Поток полученного продукта затем быстро охлаждают (подвергают "закалке") для прекращения дальнейшей реакции и последующего реагирования в присутствии катализатора с образованием подлежащей транспортировке жидкой фракции. Полученная, в конечном счете, жидкая фракция включает нефть, бензин и дизельное топливо. Несмотря на то, что этот способ, возможно, является более эффективным для конверсии части природного газа в ацетилен или этилен, считается, что он может обеспечить только 40% выхода ацетилена из потока метанового сырья. Хотя было установлено, что более высокие температуры в сочетании с коротким временем пребывания в реакционной зоне могут повысить количество полученного продукта, дальнейшему усовершенствованию рассмотренного способа в этом направлении препятствуют технические ограничения.

Несмотря на то, что описанные выше традиционные пиролизные системы обеспечивают конверсию этана и пропана в другие полезные углеводородные продукты, они показывают и подтверждают неэффективность или неэкономичность конверсии метана в другие продукты, такие, например, как этилен. Хотя вышеуказанная технология МТО является весьма перспективной, известные способы могут быть дорогостоящими вследствие использования косвенного пути образования желаемого продукта. Из-за непрерывного повышения стоимости сырья, используемого для проведения традиционных способов, такого как этан и нефть, и избыточной подачи и соответствующей низкой стоимости природного газа и других располагаемых источников метана, например, обладающего в последнее время большой доступностью сланцевого газа, желательнее обеспечить оправданные и экономически эффективные в коммерческом отношении пути использования метана в качестве сырья для производства этилена и других полезных углеводородных продуктов.

Сущность изобретения

Предложена система быстрого охлаждения высокотемпературного и высокоскоростного потока. Система содержит участок быстрого охлаждения, имеющий форму усеченной пирамиды, с входным отверстием, выходным отверстием и стенкой участка быстрого охлаждения. Кроме того, система содержит по меньшей мере одну форсунку, встроенную в стенку участка быстрого охлаждения. Входное отверстие участка быстрого охлаждения находится на первом конце участка быстрого охлаждения, а выходное отверстие находится на втором конце участка быстрого охлаждения, при этом второй конец имеет такой же или больший характерный размер, чем первый конец. Поперечное сечение участка быстрого охлаждения имеет форму правильного многоугольника, а форсунки располагаются вровень со стенкой участка быстрого охлаждения. В одном воплощении участок быстрого охлаждения имеет круговое поперечное сечение, а форсунка выполнена с непрерывным кольцевым щелевым отверстием.

Другие задачи, преимущества и области применения настоящего изобретения будут очевидны для специалистов в данной области техники из нижеследующего подробного описания и сопровождающих чертежей.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 - сверхзвуковой реактор в соответствии с различными раскрытыми в описании воплощениями, вид сбоку в разрезе.

Фиг. 2 - принципиальная схема установки для конверсии метана в ацетилен и другие углеводородные продукты в соответствии с различными раскрытыми в описании воплощениями.

Фиг. 3 - сверхзвуковой реактор в соответствии с различными раскрытыми в описании воплощениями, вид сбоку в разрезе.

Фиг. 4 - участок быстрого охлаждения (закалки), вид сбоку в разрезе.

Фиг. 5 - щелевые форсунки, размещенные с взаимным перекрытием, вид в перспективе.

Фиг. 6 - непрерывное сопло, вид в перспективе.

Подробное описание

Одна предложенная альтернатива предшествующим способам производства олефинов, которые не имеют большой коммерческой привлекательности, включает подачу углеводородного сырья в сверхзвуковой реактор и ускорение потока до сверхзвуковой скорости для получения кинетической энергии, которая может быть превращена в тепловую энергию, обеспечивающую протекание эндотермической реакции пиролиза. Варианты такого способа изложены в патентных документах US 4136015, US 4724272 и SU 392723 А. Эти способы включают сжигание исходного сырья или текучей среды-носителя в условиях избытка кислорода для повышения температуры сырья и его ускорения до сверхзвуковых скоростей. В реакторе образуется скачок уплотнения, что инициирует процесс пиролиза или крекинга сырья.

Позднее был предложен подобный способ, в котором используется реактор со скачком уплотнения для приобретения кинетической энергии, необходимой для инициирования пиролиза природного газа с получением ацетилена (патентные документы US 5219530 и US 5300216). Более конкретно, этот способ

включает прохождение водяного пара через секцию нагревателя для получения перегретого пара и его ускорения до скорости, близкой к сверхзвуковой. Нагретый теплоноситель транспортируют в сопло, в котором теплоноситель расширяется с повышением скорости до сверхзвуковой и снижением температуры. Исходное этановое сырье проходит через компрессор и нагреватель и инжектируется форсунками для смешивания со сверхзвуковым потоком теплоносителя в условиях турбулентного смешения при скорости около 2,8 Маха и температуре приблизительно 427°C. Температура на участке смешения остается достаточно низкой для исключения преждевременного пиролиза. Реактор со скачком уплотнения содержит участок пиролиза с постепенно увеличивающейся площадью поперечного сечения, на котором формируется прямой скачок уплотнения за счет противодавления в реакторе, обусловленного изменением сечения потока на выходе. Скачок уплотнения резко снижает скорость текучей среды, и, соответственно, резко повышается температура смеси за счет превращения кинетической энергии потока в тепловую энергию. Это непосредственно инициирует пиролиз этанового сырья и его конверсию в другие продукты. Теплообменник быстрого охлаждения (закалки) затем принимает подвергнутую пиролизу смесь и останавливает реакцию пиролиза.

Ниже описаны, в общих чертах, способы и установка для конверсии углеводородных компонентов, содержащихся в потоках метанового сырья, использующие сверхзвуковой реактор. Используемый здесь термин "поток метанового сырья" включает любой сырьевой поток, содержащий метан. Потоки метанового сырья, направляемые на обработку в сверхзвуковом реакторе, обычно содержат метан и образуют по меньшей мере часть обрабатываемого потока. Описанные здесь установка и способы обеспечивают конверсию по меньшей мере части метана в желаемое углеводородное соединение с получением потока продукта, имеющего более высокую концентрацию полученного углеводородного соединения по отношению к сырьевому потоку.

Используемый здесь термин "углеводородный поток" относится к одному или большему числу потоков, которые образуют по меньшей мере часть потока метанового сырья, поступающего в описанный здесь сверхзвуковой реактор, или полученного в сверхзвуковом реакторе из потока метанового сырья, независимо от того, проводится или нет дальнейшая очистка или обработка этого углеводородного потока. "Углеводородный поток" может представлять собой поток метанового сырья, поток продукта, выходящий из сверхзвукового реактора, поток желаемого продукта, выходящий после проведения ниже по потоку процесса конверсии углеводородов, или любые промежуточные потоки или потоки побочных продуктов, полученных при проведении описанных здесь технологических процессов. Углеводородный поток может быть транспортирован через линию 115 технологического потока, показанную на фиг. 2, которая включает трубопроводные линии для транспортирования каждой из частей технологического потока. Используемый здесь термин "технологический поток" означает указанный выше "углеводородный поток", а также может означать поток теплоносителя, поток топлива, поток источника кислорода или любые потоки, используемые в описанных здесь устройствах и способах. Технологический поток может быть транспортирован через трубопроводную линию 125 для технологического потока, которая содержит линии для транспортирования каждой из частей технологического потока.

В соответствии с более подробным описанием фиг. 2 источник кислорода транспортируется из устройства 110 для разделения воздуха, предварительно нагревается в нагревателе 7, после чего кислород направляется в сверхзвуковой реактор 5. Источник 4 топлива может быть предварительно нагрет в нагревателе 9 и направлен в реактор 5. Метан направляется в нагреватель 21 и затем поступает на участок сверхзвукового течения в реакторе 5. В результате получают технологический поток, который затем быстро охлаждается на участке 120 быстрого охлаждения (закалки), предназначенном для быстрого охлаждения химических реагентов. Указанное быстрое охлаждение (закалка) может быть осуществлено с использованием воды для попутного генерирования пара 122.

Выходящий из реактора быстро охлажденный поток 2 направляется в газожидкостный сепаратор 130, где разделяется на поток воды 132, содержащий воду и кокс, и охлажденный технологический поток 134, содержащий углеводороды. Технологический поток 134 может быть направлен в абсорбер 140 для извлечения и направления на рециркуляцию метана и для удаления оксигенатов с получением частично очищенного технологического потока 142. Очищенный технологический поток 142 направляется в компрессор 150 для получения сжатого потока 152 продукта. Сжатый поток 152 продукта поступает в абсорбер 169 для абсорбирования ацетилен с получением отводимого снизу потока 162, содержащего ацетилен и растворитель, и отводимого сверху потока 164, содержащего другие углеводороды. Отводимый снизу поток 162 транспортируется в гидрогенизатор 170 для получения технологического потока 172, содержащего этилен. Технологический поток 172, содержащий этилен, направляется в разделительное устройство 180, в котором получают отводимый сверху поток 182 этилена и отводимый снизу поток 184, содержащий растворитель. Поток 184, содержащий растворитель, направляется в регенератор 190 растворителя с получением потока 192 растворителя, направляемого в абсорбер 160 для ацетилена. Отводимый сверху поток 182 этилена направляется в зону 200 удаления примесей для получения потока 202 этилена с уменьшенным содержанием примесей. Поток 202 этилена подвергается сжатию в компрессоре 210, осушается в осушителе 220 и направляется в колонну 230 демеганизации, где образуются отводимый снизу поток 232 этилена и отводимый сверху поток легких газов 234. Поток 232 этилена направ-

ляется в колонну 240 деметанизации, в которой получают отводимый сверху поток 242 продукта, содержащий этилен, и отводимый снизу и направляемый на рециркуляцию поток 244 тяжелых углеводородов. Отводимый с верха колонны деметанизации поток 234 вместе с потоком пара 252 направляется в реактор 250 конверсии водяного газа, где получают поток конверсии водяного газа, содержащий водород. Поток конверсии водяного газа направляется в абсорбер 260 для проведения короткоциклового абсорбции с получением потока 262 водорода для использования в сверхзвуковом реакторе 5, и второго потока 264, содержащего метан и другие газы. Второй поток 264 может быть подвергнут сжатию и направлен на рециркуляцию для использования в исходном сырьевом потоке.

Предшествующие попытки конверсии сырьевых потоков, содержащих легкие парафины или алканы, включая этановые и пропановые сырьевые потоки, в другие углеводороды, используя для конверсии реакторы со сверхзвуковым потоком, показали перспективу в достижении более высокого выхода желаемых продуктов из конкретного сырьевого потока по сравнению с другими более традиционными пиролизными установками. Способность таких способов конверсии обеспечить весьма высокие температуры реакции при очень коротком соответствующем времени пребывания потока в реакторе предполагает значительный шаг вперед по сравнению с традиционными способами пиролиза. В последнее время было установлено, что способы могут также обеспечить конверсию метана в ацетилен и другие полезные углеводороды, в то время как более традиционные способы пиролиза были неспособны или неэффективны для проведения таких процессов конверсии.

Однако большинство проведенных ранее работ с установками, содержащими сверхзвуковой реактор, было связано с теоретическими работами или научными исследованиями и, следовательно, они не были направлены на решение проблем, связанных с практическим осуществлением процесса пиролиза в промышленном масштабе. Кроме того, многие из ранее опубликованных сведений или сообщений не рассматривали вопрос использования сверхзвуковых реакторов для осуществления пиролиза потока метанового сырья и были сфокусированы, главным образом, на пиролизе этана и пропана. Одна проблема, которая была недавно выявлена в отношении применения реактора со сверхзвуковым потоком для пиролиза легких алканов и, в частности, пиролиза метанового сырья с получением из него ацетилена и других полезных продуктов, заключается в существенном быстром охлаждении (закалке) горячего потока в сверхзвуковом реакторе. В частности, как описано ниже, если метан нагревается выше температуры пиролиза в течение слишком продолжительного периода времени, реакция пиролиза может продолжать конверсию большей части сырья в нежелательные продукты, такие как кокс или сажа. В связи с этим желательнее эффективно охлаждать поток после достижения потоком температуры пиролиза, что является затруднительным из-за очень высоких температур, имеющих место в сверхзвуковом реакторе. Поскольку температуры в реакторе могут достигать 3000°C и выше, затруднительно быстро и эффективно охлаждать теплоноситель. Кроме того, высокие температуры и сверхзвуковые скорости, имеющие место в реакционной камере, могут привести к плавлению или другому повреждению оборудования, включающего форсунки, используемые для быстрого охлаждения заправки потока.

В частности, поток теплоносителя и сырьевого потока могут проходить через реактор со сверхзвуковой скоростью, что может быстро привести к эрозии многих материалов, которые могут быть использованы для изготовления оборудования, используемого для быстрого охлаждения. К тому же, определенные вещества и примеси, которые могут присутствовать в потоке углеводородов, могут вызвать процессы коррозии, окисления и/или восстановления на стенках или в корпусе реактора и в другом оборудовании или других компонентах реактора. Компонентами, обуславливающими проблемы коррозии, окисления и/или восстановления, могут быть, например, сероводород, вода, метантиол, арсин, пары ртути, а также карбидизация посредством реагирования с самим топливом или водородное охрупчивание.

В соответствии с различными описанными здесь воплощениями обеспечиваются установка и способы для конверсии метана, содержащегося в потоках углеводородов, в ацетилен и другие продукты. Установка в соответствии с настоящим описанием и её использование рассмотрены здесь с точки зрения улучшения всего процесса пиролиза сырья, содержащего легкие алканы, включая метановое сырье, с получением ацетилена и других полезных продуктов. Описанные установка и способы, кроме того, существенно улучшают способность эффективно снижать температуру потока, проходящего через сверхзвуковой реактор, для контроля протекающей в нем реакции пиролиза, и, кроме того, обеспечивается установка и относящиеся к ней компоненты и оборудование для осуществления процесса быстрого охлаждения, способные оказывать сопротивление ухудшению их состояния и возможному разрушению из-за экстремальных рабочих условий внутри реактора.

В соответствии с одним воплощением описанные здесь установка и способы используются для обработки технологического углеводородного потока путем конверсии по меньшей мере части метана, содержащегося в технологическом потоке углеводородов, в ацетилен. Указанный технологический углеводородный поток включает поток метанового сырья, подводимого в систему, который содержит метан и, кроме того, может содержать этан и пропан. Поток метанового сырья может также содержать смеси метана, этана и пропана с различными концентрациями и может, помимо того, содержать другие углеводородные соединения, а также примеси. В соответствии с одним воплощением поток углеводородного сырья представляет собой природный газ. Природный газ может поступать из широкого круга источников,

включающих не в качестве ограничения месторождения природного газа, нефтяные месторождения, угольные пласты, гидроразрыв сланцевых месторождений нефти, биомассу, биогаз. Согласно другому воплощению поток метанового сырья может представлять собой поток, отведенный из одного из участков нефтеперерабатывающего предприятия или нефтехимической установки. Например, легкие алканы, включающие метан, в большинстве случаев разделяют во время переработки сырой нефти на различные продукты, и поток метанового сырья может поступать от одного из таких источников сырья. Эти потоки могут быть обеспечены из одного и того же нефтеперерабатывающего предприятия или из различных нефтеперерабатывающих предприятий или в виде газообразных отходов нефтеперерабатывающего предприятия. Поток сырьевого метана может представлять собой также поток, полученный из сочетания различных источников.

В соответствии с описанными здесь способами и системами поток метанового сырья может быть направлен из удаленного места или создается на участке или участках размещения и использования описанных здесь систем и способов. Например, источник потока метанового сырья может находиться на том же нефтеперерабатывающем предприятии или предприятии химической переработки углеводородов, где реализуются описанные здесь способы и системы, например, поток метанового сырья может быть получен в результате другого, проводимого на месте, процесса конверсии углеводородов или может поступать из местного газового месторождения. В то же время поток метанового сырья может быть обеспечен из удаленного источника с помощью магистральных трубопроводных линий или других средств транспортирования. Например, сырьевой поток может поступать из удаленного нефтеперерабатывающего предприятия или предприятия химической переработки углеводородов или удаленного газового месторождения и может быть использован в качестве сырья для описанных здесь систем и способов. Первоначальная обработка метанового потока может быть произведена вблизи удаленного источника с целью извлечения из потока метанового сырья определенных примесей (загрязнений). В том случае, если такая первоначальная обработка осуществляется, её можно рассматривать как часть описанных здесь способов и систем. Следовательно, поток метанового сырья, подаваемый для использования в рассматриваемых здесь системах и способах, может иметь различные уровни содержания примесей, в зависимости от того, будет ли произведена предварительная обработка потока метанового сырья выше по ходу движения потока.

В одном примере содержание метана в потоке метанового сырья находится в интервале от приблизительно 65 мол.% до приблизительно 100 мол.%. В другом примере содержание метана в углеводородном сырье находится в интервале от приблизительно 80 мол.% до приблизительно 100 мол.%. Ещё в одном примере содержание метана в углеводородном сырье находится в интервале от приблизительно 90 мол.% до приблизительно 100 мол.%.

В одном примере содержание этана в метановом сырье находится в интервале от приблизительно 0 мол.% до приблизительно 35 мол.%, в другом примере от приблизительно 0 мол.% до приблизительно 10 мол.%. В одном примере содержание пропана в метановом сырье находится в интервале от приблизительно 0 мол.% до приблизительно 5 мол.% и в другом примере от приблизительно 0 мол.% до приблизительно 1 мол.%.

Поток метанового сырья может также содержать тяжелые углеводороды, в частности ароматические углеводороды, парафиновые, олефиновые и нафтеновые углеводороды. Эти тяжелые углеводороды, если они присутствуют, будут, вероятно, присутствовать с концентрациями в интервале от приблизительно 0 мол.% до приблизительно 100 мол.%. В другом примере они могут присутствовать с концентрациями в интервале от приблизительно 0 мол.% до приблизительно 10 мол.% и могут присутствовать с концентрациями в интервале от приблизительно 0 мол.% до приблизительно 2 мол.%.

Описанные здесь установка и способ для получения ацетилена из потока метанового сырья используют реактор со сверхзвуковым потоком для пиролиза метана, содержащегося в сырьевом потоке, с образованием ацетилена. Реактор со сверхзвуковым потоком может представлять собой один или большее число реакторов, способных создавать сверхзвуковой поток теплоносителя для инициирования реакции пиролиза. Согласно одному воплощению способ может включать использование сверхзвукового реактора, описанного в общих чертах в патентном документе US 4724272, включенном полностью в настоящее описание посредством ссылки. Согласно другому воплощению способ и установка могут использовать сверхзвуковой реактор, в частности реактор со скачком уплотнения, такой как описан в патентных документах US 5219530 и US 5300216, которые включены полностью в настоящее описание посредством ссылки. В соответствии с ещё одним воплощением сверхзвуковой реактор, известный как реактор со скачком уплотнения, может представлять собой реактор, описанный в докладе: "Supersonic Injection and Mixing in the Shock Wave Reactor" Robert G. Cerff, University of Washington Graduate School, 2010.

Хотя в предложенном способе могут быть использованы различные реакторы со сверхзвуковым потоком, на фиг. 1 в качестве примера показан сверхзвуковой реактор 5. Изображенный на фиг. 1 сверхзвуковой реактор 5 содержит корпус 10, образующий большей частью реакционную камеру 15. Хотя реактор 5 показан в виде единого реактора, следует понимать, что он может быть выполнен из модулей или отдельных корпусов. Если реактор выполнен из модулей или в виде отдельных компонентов, эти модули или отдельные компоненты реактора могут быть соединены вместе постоянно или на временной основе

или могут быть отделены друг от друга, при этом текучие среды могут находиться в них за счет использования других средств, таких, например, как регулирование разности давления между соответствующими модулями или компонентами. Реактор содержит зону горения или камеру 25 сгорания для сжигания топлива и образования теплоносителя с желаемой температурой и расходом. По усмотрению, реактор 5 может содержать входное отверстие 20 для ввода в реактор вспомогательного теплоносителя. Для инжектирования в камеру 25 сгорания сжигаемого топлива, например водорода, реактор снабжен одной или большим количеством топливных форсунок (инжекторов) 30. Для инжектирования в камеру 25 источника кислорода, способствующего сжиганию топлива, могут быть использованы те же или другие форсунки. Топливо и кислород сжигают с получением потока горячего теплоносителя, обычно имеющего температуру в интервале от приблизительно 1200°C до приблизительно 3500°C в одном примере, от приблизительно 2000°C до приблизительно 3500°C в другом примере и от приблизительно 2500°C до приблизительно 3200°C ещё в одном примере. Кроме того, предполагается получение потока теплоносителя с помощью других известных способов, включая способы без сжигания топлива. В соответствии с одним примером поток теплоносителя имеет давление приблизительно 1 атм или выше, в другом примере давление составляет приблизительно 2 атм или выше и ещё в одном примере более 4 атм. В одном примере поток теплоносителя имеет давление в интервале от 12 до 20 атм.

Поток горячего теплоносителя из зоны 25 горения проходит через сверхзвуковое расширительное устройство 51, которое представляет собой сужающееся-расширяющееся сопло 50 для ускорения потока теплоносителя до скорости более приблизительно 1,0 Маха в одном примере, до скорости в интервале от 1,0 до 4,0 Маха в другом примере и от приблизительно 1,5 до приблизительно 3,5 Маха ещё в одном примере. При этом время нахождения теплоносителя в указанной части реактора со сверхзвуковым потоком в одном примере составляет приблизительно 0,5-100 мс, в другом примере приблизительно 1,0-50 мс и ещё в одном примере приблизительно 1,5-20 мс. Температура потока теплоносителя, проходящего через указанное сверхзвуковое расширительное устройство, в одном примере находится в интервале от приблизительно 1000°C до приблизительно 3500°C, в другом примере от приблизительно 1200°C до приблизительно 2500°C и ещё в одном примере от приблизительно 1200°C до приблизительно 2000°C.

Для инжектирования потока метанового сырья в реактор 5, где он смешивается с теплоносителем, служит устройство 40 для подачи сырья. Устройство 40 для подачи сырья может содержать один или большее количество инжекторов 45 для инъекции исходного сырья в сопло 50, в зону 55 смешивания, в зону 60 диффузора или реакционную зону или камеру 65. Инжектор 45 может быть выполнен в виде распределительного коллектора, содержащего, например, множество инжекционных отверстий или сопел для инъекции сырья в реактор 5.

Согласно одному воплощению реактор 5 может содержать зону 55 смешения для смешивания теплоносителя и сырьевого потока. Согласно одному воплощению, иллюстрируемому на фиг. 1, реактор 5 может содержать отдельную зону смешения, расположенную, например, между сверхзвуковым расширительным устройством 51 и зоной 60 расположения диффузора, в то время как в соответствии с другим вариантом выполнения зона смешения включена в диффузорный участок, и смешение может происходить в сопле 50, зоне 60 расширения или в реакционной зоне 65 реактора 5. Зона 60 расширения образована расширяющейся стенкой 70 для быстрого снижения температуры проходящих через неё газов, для превращения кинетической энергии потока теплоносителя в тепловую энергию с дополнительным нагреванием потока и иницированием пиролиза метана, содержащегося в сырье, что может происходить в зоне расширения 60 и/или ниже по ходу движения потока от реакционной зоны 65 реактора. Текучая среда быстро охлаждается в зоне 72 быстрого охлаждения для прекращения реакции пиролиза, т.е. предотвращения дальнейшей конверсии желаемого продукта - ацетилена в другие химические соединения. Для ввода охлаждающей текучей среды, например воды или водяного пара, в зону 72 быстрого охлаждения могут быть использованы форсунки 75.

Поток продукта (эффлюент) выходит из реактора через выпускное отверстие 80 и, как отмечено выше, образует часть углеводородного потока. Указанный выходящий поток продукта будет иметь более высокую концентрацию ацетилена, чем сырьевой поток, и пониженную концентрацию метана по отношению к сырьевому потоку. Поток полученного в реакторе продукта может быть здесь именован также потоком ацетилена, т.к. он имеет повышенное содержание ацетилена. Поток ацетилена может быть промежуточным потоком в процессе образования другого углеводородного продукта, или он может быть подвергнут дополнительной обработке и извлечен в качестве потока продукта, содержащего ацетилен. В одном примере выходящий поток продукта, полученного в реакторе, перед вводом охлаждающей среды имеет концентрацию ацетилена в интервале от приблизительно 2 мол.% до приблизительно 30 мол.%. В другом примере концентрация ацетилена находится в интервале от приблизительно 5 мол.% до приблизительно 25 мол.% и в ещё одном примере от приблизительно 8 мол.% до приблизительно 23 мол.%.

Корпус 10 реактора содержит оболочку 11. Следует отметить, что термин "оболочка реактора" относится к стенке или стенкам, образующим корпус реактора, который образует реакционную камеру 15. Оболочка 11 реактора обычно имеет кольцевую структуру, в целом образующую полную внутри центральную реакционную камеру 15. Оболочка 11 реактора может содержать единственный слой материала, структуру с единственным композитом или ряд оболочек, при этом одна или большее количество

оболочек размещены в одной или большем количестве других оболочек. Оболочка 11 реактора может также содержать различные зоны, компоненты и/или модули, упомянутые ниже и, кроме того, упомянутые ниже различные зоны, компоненты и/или модули сверхзвукового реактора 5. Оболочка 11 реактора может быть выполнена в виде одного единственного элемента, образующего все различные зоны реактора и его компоненты, или оболочка может быть модульной, состоящей из различных модулей, образующих различные зоны реактора и/или компоненты.

Как отмечено выше, в соответствии с одним воплощением сверхзвуковой реактор 5 содержит зону 72 закалки (быстрого охлаждения) для эффективного охлаждения проходящего через неё потока пиролиза. Следует отметить, что используемый здесь термин "поток пиролиза" может включать один или все потоки из потока теплоносителя, сырьевого потока и выходящего потока продуктов до или во время проведения процесса пиролиза.

Согласно одному воплощению зона 72 быстрого охлаждения содержит систему 75 распылительно-го охлаждения, используемую для распыления охлаждающей текучей среды в зону быстрого охлаждения для контактирования с потоком пиролиза и снижения его температуры. Поток быстрого охлаждения может содержать одну или большее число различных охлаждающих текучих сред. Хотя в соответствии с изложенным могут быть использованы различные охлаждающие текучие среды, согласно одному воплощению охлаждающую среду выбирают так, чтобы помимо охлаждения потока пиролиза она не препятствовала реакции пиролиза. Охлаждающая текучая среда может быть, кроме того, выбрана так, чтобы она не вводила в поток пиролиза такой компонент, который будет загрязнять продукт пиролиза или создавать препятствие для отделения этого компонента от части выходящего потока. В этой связи в одном примере поток быстрого охлаждения содержит компонент, который присутствует в технологическом потоке.

Согласно одному воплощению охлаждающая текучая среда представляет собой холодную воду или водяной пар. Следует отметить, что "холодный" применительно к потоку быстрого охлаждения используется по отношению к температуре потока пиролиза, поскольку поток быстрого охлаждения в ином случае все же может иметь высокую температуру. Согласно другому подходу текучей средой для быстрого охлаждения является этилен. В соответствии с ещё одним подходом текучей средой для быстрого охлаждения является нефть. Следует понимать, что эти текучие среды, по существу, не будут препятствовать реакции пиролиза, помимо снижения температуры, и останавливать реакцию, и они или образуют желаемую часть технологического потока, или могут быть отделены от него.

Согласно другому воплощению текучей средой для быстрого охлаждения служит хлор. В этом случае при введении потока быстрого охлаждения хлор будет реагировать с ацетиленом в потоке пиролиза с получением винилхлорида, который может быть желаемым продуктом.

Согласно одному воплощению система быстрого охлаждения содержит источник 200 охлаждающей текучей среды и по меньшей мере одно устройство 75 для ввода охлаждающей среды, показанное на фиг. 3, предназначенное для ввода потока быстрого охлаждения в зону 72 быстрого охлаждения камеры 15 реактора с целью быстрого охлаждения потока пиролиза. Согласно одному воплощению указанное устройство для ввода представляет собой форсунку. Форсунка может быть сконфигурирована так, чтобы направлять охлаждающую текучую среду в зону 72 быстрого охлаждения для обеспечения надлежащего смешения охлаждающей текучей среды с потоком пиролиза и желаемого охлаждения потока пиролиза.

Как отмечено выше, было обнаружено, что высокие температуры и скорости, а также другие жесткие рабочие условия и компоненты потока пиролиза, присутствующие в камере 15 реактора, могут обуславливать плавление и/или повреждение оборудования и элементов системы быстрого охлаждения. В частности, температуры в зоне быстрого охлаждения могут в одном примере изменяться в интервале от приблизительно 1200 до приблизительно 2500°C. В другом примере температуры в зоне быстрого охлаждения могут изменяться в интервале от приблизительно 1300 до приблизительно 1800°C. Температура горячей текучей среды в зоне быстрого охлаждения может быть уменьшена на выходе до температуры не менее чем приблизительно 1000°C. Температуру горячей текучей среды предпочтительно уменьшают до 800°C или менее и предпочтительно до температуры от 100 до 800°C, при этом номинальная целевая температура составляет 250°C. Кроме того, скорость текучей среды может быть уменьшена в зоне быстрого охлаждения в одном примере от приблизительно 1-3,0 Маха до менее чем приблизительно 0,5 Маха, при этом предпочтительная выходная скорость текучей среды составляет менее 0,1 Маха. Помимо этого, компоненты, присутствующие в потоке пиролиза, могут вызывать коррозию, окисление или реакции восстановления в оборудовании или компонентах, находящихся в зоне 72 быстрого охлаждения.

В связи с этим устройство для ввода охлаждающей среды в соответствии с одним воплощением выполнено с возможностью выдерживать указанные жесткие рабочие условия в реакторе. Хотя могут быть использованы и другие типы устройств ввода, в настоящем описании используемое устройство ввода будет представлять собой форсунку. Согласно одному воплощению одна или большее число частей форсунки сформованы в виде отливки. При этом за счет формирования части оболочки реактора в виде отливки обеспечивается более изотропная микроструктура. Литая часть оболочки реактора может обеспечить коррозионную стойкость по сравнению с такими же элементами, изготовленными с помощью других методов, например с помощью сварки или формования. Формирование части оболочки реактора из

отливки может также обеспечить лучшие и более однородные высокотемпературную ползучесть и прочность по сравнению с формированием оболочки с помощью других методов.

В соответствии с одним воплощением отливка может быть получена литьем с направленной кристаллизацией для обеспечения улучшенной термостойкости и сопротивления ползучести при повышенных температурах реакции и давлениях. Согласно одному воплощению полученная отливка имеет столбчатую кристаллическую структуру. Согласно другому воплощению отливка имеет монокристаллическую структуру.

Отливка может быть получена из одного или большего числа материалов, более подробно описанных ниже. Литая часть реактора может быть дополнительно обработана с помощью различных методов, известных в уровне техники. Например, форсунка может быть покрыта так, как это описано здесь ниже, подвергнута термической обработке, отпуску, обуглерожена, азотирована или обработана другими известными способами для улучшения её свойств.

Таким образом, за счет формирования части форсунки в виде отливки обеспечивается более изотропная микроструктура. Литая часть оболочки реактора может обеспечить более высокую коррозионную стойкость по сравнению с такими же элементами, изготовленными с помощью других методов, например с помощью сварки или формования. Формирование части оболочки реактора из отливки может также обеспечить лучшие и более однородные высокотемпературную ползучесть и прочность по сравнению с формированием корпуса с помощью других методов.

В одном воплощении по меньшей мере часть форсунки 75 изготовлена из материала, имеющего высокую температуру плавления, чтобы она выдерживала высокие рабочие температуры в зоне 72 быстрого охлаждения. Согласно одному воплощению один или большее число материалов, образующих часть форсунки 75, могут иметь большую долговечность при малоциклового усталости, прочность с высоким пределом текучести, сопротивление ползучести и механическому разрушению, стойкость к окислению и совместимость с охлаждающими агентами и топливами. В одном примере по меньшей мере часть форсунки 75 выполнена из материала с температурой плавления в интервале от приблизительно 800 до приблизительно 4000°C, в другом примере от приблизительно 1200 до 3500°C и ещё в одном примере от приблизительно 1800 до 3200°C. Эти материалы могут также демонстрировать стабильность микроструктуры в процессе различных процедур тепловой и механической обработки, пригодность для процессов термокомпрессии и хорошую адгезию стойких к окислению покрытий. Некоторые предпочтительные материалы для формирования по меньшей мере части форсунки 40 включают сплавы суперсплавов и алюминиды никеля и титана (Ti) гамма. Согласно одному воплощению суперсплав представляет собой суперсплав на основе никеля. Согласно другому воплощению суперсплав представляет собой суперсплав на основе железа.

Согласно одному воплощению указанная по меньшей мере часть форсунки выполнена из одного суперсплава. В этом случае конструкция форсунки может обеспечить исключительную механическую прочность и сопротивление ползучести при температурах горения и пиролиза, имеющих место в реакторе. При этом форсунка может также препятствовать плавлению или разрушению, обусловленным рабочими температурами наряду с давлениями в зоне 72 быстрого охлаждения.

В соответствии с другим воплощением часть форсунки выполнена из материала, выбранного из группы, включающей карбид, нитрид, диборид титана, сиалонную керамику, диоксид циркония, диоксид тория, углерод-углеродный композит, вольфрам, тантал, молибден, хром, никель и их сплавы.

В соответствии с ещё одним воплощением часть форсунки выполнена в виде отливки, которая содержит компонент, выбранный из группы, включающей двухфазную (или дуплексную) нержавеющую сталь, супер двухфазную нержавеющую сталь и высокотемпературный сплав на основе никеля, обладающий низкой ползучестью.

Для обеспечения хорошей коррозионной стойкости в состав материала могут быть включены хром и никель.

В соответствии с другим аспектом стенки реактора выполнены из материала, обладающего высокой теплопроводностью. Поэтому тепло от реакционной камеры 15 может быть быстро отведено. Это может предотвратить нагревание внутренней поверхности оболочки 11 реактора до температуры поверхности равной или близкой температуре в реакторе, что может привести к плавлению, химическому возгоранию или другому повреждению стенок оболочки 11 реактора. В одном примере один или большее число участков реактора могут быть выполнены из материала, коэффициент теплопроводности которого находится в интервале от приблизительно 200 до приблизительно 500 Вт/м·К. В другом примере коэффициент теплопроводности материала находится в интервале от приблизительно 300 до приблизительно 450 Вт/м·К. В следующем примере коэффициент теплопроводности находится в интервале от приблизительно 200 до приблизительно 346 Вт/м·К и ещё в одном примере может составлять от приблизительно 325 до приблизительно 375 Вт/м·К.

Было установлено, что в соответствии с рассматриваемым воплощением оболочка реактора может быть изготовлена из материала, имеющего относительно низкую температуру плавления, при условии, что этот материал имеет весьма высокую теплопроводность. Поскольку в рассматриваемом воплощении

теплота от реакционной камеры 15 быстро отводится, оболочка 11 реактора не подвержена в значительной степени воздействию температуры, установившейся в реакторе. По этой причине за счет выполнения части оболочки реактора из материала, обладающего высокой теплопроводностью, этот материал может иметь температуру плавления ниже температуры в реакционной камере 15. В одном примере часть оболочки 11 реактора выполнена из материала с температурой плавления в интервале от приблизительно 500 до приблизительно 2000°C. В другом примере часть оболочки 11 реактора выполнена из материала, имеющего температуру плавления в интервале от приблизительно 800 до приблизительно 1300°C и ещё в одном примере может быть выполнена из материала с температурой плавления от приблизительно 1000 до приблизительно 1200°C.

Согласно одному воплощению материал, обладающий высокой теплопроводностью, представляет собой металл или металлический сплав. В одном воплощении одна или большее число частей оболочки 11 реактора могут быть выполнены из материала, выбранного из группы, включающей медь, серебро, алюминий, цирконий, гафний и их сплавы. В этой связи необходимо отметить, что один или более из перечисленных материалов могут быть использованы также для формирования покрытия на поверхности оболочки реактора или для изготовления слоя многослойной оболочки 11 реактора. Согласно одному воплощению часть оболочки 11 реактора содержит медь или сплав меди. В одном примере часть оболочки 11 реактора выполнена из материала, выбранного из группы, включающей сплав меди с хромом, сплав меди с цинком и хромом, сплав меди с хромом и ниобием, сплав меди с никелем и сплав меди с никелем и вольфрамом. В другом примере часть оболочки реактора выполнена из сплава ниобия с серебром. Для интенсификации отвода теплоты от реакционной камеры может быть использовано охлаждение, обеспечивающее ускорение отвода теплоты от реакционной камеры для того, чтобы температура оболочки реактора поддерживалась более низкой и была допустимой температурой.

В соответствии с одним воплощением один или большее число компонентов системы 72 могут быть удалены и заменены в процессе работы сверхзвукового реактора или во время перерыва в его работе. Например, форсунка для быстрого охлаждения может быть повреждена быстрее, чем другие компоненты реактора, поэтому эта форсунка может быть установлена с возможностью демонтажа с тем, чтобы в случае повреждения её можно было заменить на новую форсунку. Согласно одному воплощению может быть использовано множество сверхзвуковых реакторов, например от 2 до 10 реакторов, установленных параллельно или последовательно так, что один или большее число сверхзвуковых реакторов работают, а другие, один или большее число сверхзвуковых реакторов, находятся в состоянии ожидания (готовности к работе) так, что если необходимо техническое обслуживание или замена одного или большего числа компонентов работающего сверхзвукового реактора, то для продолжения работы рабочий процесс может быть переключен на сверхзвуковой реактор, находящийся в состоянии ожидания.

В одном примере выходящий из реактора поток после проведения пиролиза в сверхзвуковом реакторе 5 имеет пониженное содержание метана по сравнению с сырьевым метановым потоком, составляющее от приблизительно 15 мол.% до приблизительно 95 мол.%. В другом примере содержание метана находится в интервале от приблизительно 40 мол.% до приблизительно 90 мол.% и ещё в одном примере от приблизительно 45 мол.% до приблизительно 85 мол.%.

В одном примере выход ацетилена, полученного в сверхзвуковом реакторе из метана, содержащегося в сырье, составляет от приблизительно 20 мол.С% до приблизительно 95 мол.С%. В другом примере выход ацетилена, полученного в сверхзвуковом реакторе из метана, содержащегося в сырье, составляет от приблизительно 40 мол.С% до приблизительно 90 мол.С%. Предпочтительно это обеспечивает больший выход ацетилена по сравнению с расчетным выходом, составляющим 40%, достигаемым в случае использования предшествующих, более традиционных решений для пиролиза. Здесь "мол.С%" представляет собой содержание в потоке молей углерода в %.

Согласно одному воплощению выходящий из реактора поток химически реагирует с образованием другого углеводородного соединения. В связи с этим часть выходящего из реактора потока углеводородов может быть транспортирована из выхода реактора для дополнительной обработки этого потока ниже по потоку, осуществляемой путем проведения процесса конверсии углеводородов. Следует понимать, что выходящий из реактора поток может быть подвергнут некоторым промежуточным стадиям обработки, таким, например, как обезвоживание, адсорбция и/или абсорбция для получения потока концентрированного ацетилена. Однако указанные промежуточные стадии здесь не будут рассмотрены более подробно.

В соответствии с фиг. 2 выходящий из реактора поток, имеющий более высокую концентрацию ацетилена, может быть направлен в находящуюся ниже по потоку зону 100 конверсии углеводородов, в которой ацетилен может быть превращен в другой углеводородный продукт. Расположенная ниже по потоку зона 100 конверсии углеводородов может содержать реактор 105 для конверсии углеводородов, в котором осуществляется конверсия ацетилена в другой углеводородный продукт. Фиг. 2 иллюстрирует упрощенную технологическую схему проведения конверсии по меньшей мере части ацетилена, содержащегося в выходящем из реактора потоке, в этилен посредством гидрогенизации в реакторе 110 гидрогенизации. Однако следует понимать, что в указанной зоне 100 конверсии углеводородов могут быть проведены различные другие процессы конверсии углеводородов вместо использования или в дополне-

ние к использованию реактора 100 гидрогенизации или комбинация процессов конверсии углеводородов. Точно так же иллюстрируемые на фиг. 2 технологические процессы, проводимые на установке, могут быть модифицированы или исключены, они показаны лишь в иллюстративных целях и не направлены на ограничение описанных здесь систем и способов. В частности, было установлено, что различные другие процессы конверсии углеводородов, отличающиеся от описанных выше воплощений, могут быть осуществлены ниже по потоку от реактора 5 со сверхзвуковым потоком, включая процессы конверсии ацетилена в другие углеводороды, включающие, но не в качестве ограничения, алкены, алканы, метан, акролеин, акриловую кислоту, акрилаты, акриламид, альдегиды, полиацетилены, бензол, толуол, стирол, анилин, циклогексанон, капролактан, пропилен, бутадиев, бутиндиол, бутандиол, углеводородные соединения C₂-C₄, этиленгликоль, дизельное топливо, диациды, диолы, пирролидины и пирролидоны.

Зона 200 удаления примесей, предназначенная для удаления одной или большего числа примесей из потока углеводородов или технологического потока, может быть расположена на различных участках вдоль пути движения потока углеводородов или технологического потока, в зависимости от воздействия конкретной примеси на продукт или технологический процесс и от причины необходимости удаления примеси, о чем более подробно сказано ниже. Например, определенные примеси, как было установлено, ухудшают работу реактора 5 со сверхзвуковым потоком и/или приводят к образованию отложений в реакторе 5 со сверхзвуковым потоком. Так, согласно одному воплощению зона удаления примесей расположена выше по потоку от реактора со сверхзвуковым потоком и служит для удаления примесей из потока метанового сырья перед его вводом в сверхзвуковой реактор. Другие примеси, как было установлено, ухудшают проведение стадии обработки или процесса конверсии углеводородов ниже по ходу движения потока, и в этом случае зона удаления примесей может быть размещена выше по потоку от сверхзвукового реактора или между сверхзвуковым реактором и местом проведения соответствующей стадии обработки ниже по потоку. Кроме того, были выявлены и другие примеси, подлежащие удалению для удовлетворения технических требований (стандартов), которым должен соответствовать конкретный продукт. В том случае, если из потока углеводородов или обработанного потока желательное удаление многочисленных примесей, в различных местах по ходу движения потока углеводородов или технологического потока могут быть расположены различные зоны удаления примесей. Согласно другим воплощениям зона удаления примесей может перекрывать зону проведения другого процесса или может быть объединена с ней в пределах технологической системы, и в этом случае определенная примесь может быть удалена во время прохождения другого участка технологического процесса, включая, но не в качестве ограничения, реактор 5 со сверхзвуковым потоком или зону 100 конверсии углеводородов ниже по ходу движения потока. Это может быть осуществлено с проведением или без проведения модификации этих конкретных зон, реакторов или процессов. Хотя зона 120 удаления примесей показана на фиг. 2, расположенной ниже по потоку от реактора 105 для конверсии углеводородов, следует понимать, что зона 120 удаления примесей в соответствии с настоящим изобретением может быть расположена выше по потоку от реактора 5 со сверхзвуковым потоком, между реактором 5 со сверхзвуковым потоком и зоной 100 конверсии углеводородов, или ниже по потоку от зоны 100 конверсии углеводородов, как показано на фиг. 2, или вдоль пути движения других потоков, включающих, например, поток теплоносителя, поток топлива, поток источника кислорода или любые потоки, используемые в описанных здесь системах и процессах.

В одном воплощении изобретение обеспечивает участок быстрого охлаждения высокотемпературных потоков. Участок быстрого охлаждения имеет форму усеченной пирамиды, содержит входное отверстие на одном конце и выходное отверстие на противоположном конце усеченной пирамиды, а также стенку участка быстрого охлаждения. Используемый здесь и далее термин "усеченная пирамида" обозначает правильную многостороннюю трубчатую конструкцию и может обозначать трубчатую конструкцию с круговым поперечным сечением. Форма усеченной пирамиды, кроме того, включает входное сечение, которое меньше или равно выходному сечению. Подразумевается, что усеченная пирамида представляет собой цилиндрическую конструкцию. Участок быстрого охлаждения, помимо того, содержит по меньшей мере одну форсунку, встроенную в стенку участка быстрого охлаждения, при этом форсунки расположены вровень (на одном уровне) со стенкой участка быстрого охлаждения. Входное отверстие находится на первом конце участка быстрого охлаждения, имеющего форму усеченной пирамиды, а выходное отверстие на втором конце участка быстрого охлаждения, имеющего форму усеченной пирамиды. Второй конец имеет поперечное сечение, большее или равное поперечному сечению первого конца. Поперечное сечение участка быстрого охлаждения имеет форму правильного многоугольника и может также иметь форму кругового поперечного сечения. В одном воплощении участок быстрого охлаждения может содержать две части, цилиндрическую часть и коническую часть, или выполненную в форме усеченной пирамиды, прикрепленную к цилиндрической части, при этом к указанной цилиндрической части прикреплен конец конической части меньшего размера.

Как показано на фиг. 4, участок 170 быстрого охлаждения непосредственно сообщается по текучей среде с реакционным участком 160. Участок 170 быстрого охлаждения содержит по меньшей мере одну форсунку 172, содержащую выходное отверстие 174, которое расположено вровень со стенкой 176 участка быстрого охлаждения. В одном воплощении используется множество форсунок 174. В другом во-

площени форсунка может иметь выходное отверстие, которое представляет собой непрерывное, кольцевое или частично кольцевое отверстие. На фиг. 5 и 6 показана часть участка 170 быстрого охлаждения с выходными отверстиями 174 форсунок в виде непрерывного кольцевого отверстия и нескольких частичных кольцевых отверстий соответственно. На фиг. 7 показана также конфигурация с перекрывающимися друг друга отверстиями 174 форсунок. Для этого воплощения, как показано на фиг. 6, длина дуги отверстий 174 форсунки соответствует углу более 10° в направлении вокруг периметра окружности участка 170 быстрого охлаждения.

Участок 170 быстрого охлаждения имеет форму и размеры для плавного соединения с выходом реакционного участка 160. Участок 170 быстрого охлаждения имеет поперечное сечение, которое представляет собой многоугольник правильной формы, содержащий по меньшей мере 6 сторон. Предпочтительно поперечное сечение имеет форму правильного многоугольника, содержащего 10 сторон. В наиболее предпочтительном воплощении участок 170 имеет поперечное сечение в форме окружности.

Участок 170 быстрого охлаждения обычно имеет коническую форму с центральной осью. Участок 170 быстрого охлаждения содержит большое число форсунок, которые расположены в плоскости, перпендикулярной центральной оси, и указанное большое число форсунок представляет собой по меньшей мере 4 форсунки. В одном воплощении большое число форсунок составляет от 8 до 32 форсунок, расположенных равномерно на расстоянии друг от друга вокруг периметра. Форсунки расположены на определенном расстоянии друг от друга в радиальном направлении по периметру окружности, и это расстояние между соседними форсунками составляет от 15° до 45° для случая использования от 8 до 24 форсунок, размещенных вокруг периметра на расстоянии друг от друга. Для 16 форсунок, размещенных вокруг периметра на расстоянии друг от друга, предпочтительное расстояние по периметру окружности составляет от 20° до 25° . В одном воплощении очень большое число форсунок может быть расположено на расстоянии друг от друга вокруг периметра со значительным взаимным перекрытием факелов распыла. Предусмотрено также чередующееся расположение форсунок. Выбор и количество форсунок будет зависеть от факторов, которые необходимо учитывать, включая конструктивные соображения, а также от физических ограничений по числу форсунок в пределах небольшого пространства. Участок 170 быстрого охлаждения включает в себя первый участок 180 и второй участок 190, при этом первый участок 180 соединен с выходом реакционного участка 160, а второй участок 190 находится ниже по потоку от первого участка 180 и соединен с указанным первым участком 180. Первый участок 180 может представлять собой половину участка 170 быстрого охлаждения или меньшую часть, например четверть участка, 170 быстрого охлаждения. Форсунки 172 для распыления охлаждающего агента размещены в пределах первого участка 180 участка 170 быстрого охлаждения.

Форсунки 172 могут представлять собой множество форсунок меньшего размера, размещенных на расстоянии друг от друга по периметру окружности вокруг участка 170 быстрого охлаждения, и соседние форсунки 172 отделены друг от друга, по существу, равными промежутками. Одна форма выполнения множества форсунок может включать ряд плотно расположенных отверстий и может включать небольшие дискретные сквозные отверстия, выполненные в листе, размещенном поверх отверстий большего размера. Эти отверстия могут быть выполнены в перфорированном листе, проволочной сетке или на участке с фасонной проволокой.

В другом воплощении участок 170 быстрого охлаждения содержит по меньшей мере два ряда форсунок, при этом каждый ряд форсунок распределен по периметру вокруг стенки 176 участка быстрого охлаждения. Каждый ряд расположен в пределах кругового сечения, которое ориентировано в плоскости, перпендикулярной центральной оси участка быстрого охлаждения. Хотя в конкретном воплощении круговое сечение может проходить перпендикулярно, это не является ограничением изобретения. Однако распределенные по периметру окружности форсунки могут находиться в круговой полосе, которая расположена под углом наклона относительно центральной оси, при этом предусмотренный угол составляет менее 90° , но более 0° относительно центральной оси. Для воплощения, в котором имеется два ряда форсунок, форсунки второго ряда смещены относительно форсунок первого ряда. Предпочтительно форсунки во втором ряду, находящиеся под углом по отношению к центральной оси, смещены до положения, которое соответствует половине расстояния между соседними форсунками в первом ряду.

Система для быстрого охлаждения содержит распылительные форсунки 172 с профилированными отверстиями 174 для создания факела распыла, имеющего угол от 30° до 120° . Предпочтительный угол факела распыла для форсунок находится в интервале от 60° до 90° . В одном воплощении система быстрого охлаждения использует форсунки, содержащие распылитель. Распылитель обеспечивает генерирование небольших капель жидкости для быстрого охлаждения, что увеличивает интенсивность теплообмена между охлаждающей жидкостью и горячими газообразными продуктами реакции за счет увеличения поверхности охлаждающей жидкости. Одним примером распылителя является ультразвуковой распылитель.

Площадь поперечного сечения участка 170 быстрого охлаждения или остается постоянной и/или увеличивается в направлении движения потока горячих реакционных газов и охлаждающей жидкости. В одном воплощении система быстрого охлаждения содержит участок быстрого охлаждения, на котором

отношение площади проходного поперечного сечения выходного отверстия 184 к площади проходного сечения входного отверстия 182 составляет по меньшей мере 1. В одном воплощении отношение площади проходного сечения выходного отверстия 184 к площади проходного сечения входного отверстия 182 составляет по меньшей мере 2, при этом в одном конкретном воплощении указанное отношение находится в интервале от 3 до 6.

Участок 170 быстрого охлаждения (закалки) предназначен для быстрого охлаждения и предполагает выбор охлаждающих текучих сред, достаточных для охлаждения реакционных газов. Участок 170 быстрого охлаждения спроектирован также так, чтобы его длина была достаточной для осуществления процесса охлаждения. Участок быстрого охлаждения имеет отношение длины к диаметру входного отверстия, равное по меньшей мере 3, причем в одном воплощении указанное отношение длины к диаметру входного отверстия находится в интервале от 5 до 10, а в альтернативном воплощении в интервале от 3 до 6.

Одним воплощением настоящего воплощения является способ охлаждения высокоскоростного потока пара. Способ включает транспортирование высокоскоростного потока пара к участку быстрого охлаждения. На участке быстрого охлаждения распыляют жидкость, которая имеет высокую скорость испарения, при этом жидкость на участке быстрого охлаждения распыляют в виде капель, имеющих средний диаметр менее 5000 мкм, предпочтительно менее чем приблизительно 1500 мкм и более предпочтительно менее чем приблизительно 500 мкм. Участок быстрого охлаждения имеет форму усеченной пирамиды, содержит входное и выходное отверстия, стенку участка быстрого охлаждения и множество распылительных форсунок, встроенных в стенку участка быстрого охлаждения, при этом форсунки расположены, по существу, вровень со стенкой участка быстрого охлаждения.

Предлагаемый способ включает использование высокоскоростного потока пара, который поступает на участок быстрого охлаждения с температурой по меньшей мере 1000°C, и температура на этом участке обычно повышается до 1300-1800°C. Температура газообразных продуктов реакции будет снижаться до величины менее чем приблизительно 1200°C, предпочтительно менее чем 1000°C или более предпочтительно до температуры в интервале от 150°C до приблизительно 800°C.

Охлаждающей текучей средой может быть жидкость с высокой теплоемкостью, которая не является реакционноспособной по отношению к ацетилену. Охлаждающими текучими средами могут быть вода, влажный пар, хлор, жидкие углеводороды и, в частности, жидкие нормальные парафины, а также смеси этих жидкостей. Процесс закалки включает распыление охлаждающей текучей среды в первую четверть участка быстрого испарения, при этом первая четверть участка включает первую четверть осевой длины участка быстрого испарения, измеренную от входа участка быстрого испарения.

Способ включает распыление охлаждающей жидкости через большое число форсунок, размещенных по круговому периметру стенки участка быстрого испарения для подачи охлаждающей текучей среды, по существу, в равных количествах из каждой форсунки. Распылительные форсунки распределены вокруг периметра участка быстрого охлаждения и распределены в ряду так, чтобы обеспечить, по существу, равномерную подачу охлаждающей жидкости на участке быстрого охлаждения из положения вокруг кругового периметра окружности. Форсунки могут быть распределены в определенной зоне, которая образует круговое кольцо вокруг участка быстрого охлаждения, или форсунки могут быть распределены так, что они образуют наклонное кольцо вокруг центральной оси участка быстрого охлаждения. В одном воплощении охлаждающую текучую среду подают через два ряда форсунок, распределенных по круговому периметру вокруг стенки участка быстрого охлаждения, при этом указанные форсунки распределены в пределах двух кольцевых участков вокруг стенки участка быстрого охлаждения, и каждый кольцевой участок расположен, по существу, перпендикулярно центральной оси участка быстрого охлаждения.

В одном воплощении охлаждающую жидкость распыляют на участке быстрого охлаждения на капли, средний диаметр которых находится в интервале от 10 до 500 мкм, причем наиболее распространен интервал от 70 до 200 мкм. В другом воплощении распыление представляет собой мелкодисперсное распыление, при этом средний диаметр капель составляет от 10 до 200 мкм, в предпочтительном воплощении средний диаметр капель при распылении находится в интервале от 20 до 100 мкм. В одном воплощении распыляют водяной пар.

Предлагаемый способ предназначен для охлаждения высокоскоростного потока пара, при котором поток пара проходит через вход участка быстрого охлаждения (закалки) со скоростью в интервале от 10 до 1000 м/с, при этом номинальная скорость составляет от 10 до 300 м/с и во многих случаях от 20 до 300 м/с. В случае функционирования реактора с большей степенью регулирования скорость находится в интервале от 130 до 210 м/с. Способ включает быстрое замедление потока пара, входящего на участок быстрого охлаждения с высокой скоростью при абсолютном давлении в интервале от 100 кПа до 1 МПа.

Охлаждающая жидкость распыляется на участке быстрого охлаждения с расходом в интервале от 0,01 до 3 кг/с, приходящимся на 1 кг горячего газа, поступающего на участок быстрого охлаждения, предпочтительная величина расхода составляет от 0,6 до 2 кг/с на 1 кг горячего газа. Охлаждающая жидкость распыляется в условиях, обеспечивающих распределение Розина-Раммлера капель распыления, причем охлаждающая жидкость распыляется при скорости выхода из форсунки в интервале от 10 до 300

м/с и предпочтительно от 50 до 150 м/с. Распыляемые капли необходимо распылять со скоростью, достаточной для получения высокоскоростного потока пара, и в то же время достаточно низкой для того, чтобы предотвратить проникновение всей охлаждающей жидкости в центр высокоскоростного потока пара. Охлаждающая жидкость распыляется на участке быстрого охлаждения так, что величина потока количества движения находится в интервале от 2×10^6 Н·с/(м²·с) до 1×10^8 Н·с/(м²·с), где Н - ньютоны, м - метры, с - секунды, предпочтительный поток количества движения составляет от 2×10^6 Н·с/(м²·с) до 3×10^7 Н·с/(м²·с). В случае использования в качестве охлаждающей жидкости воды с плотностью 1 г/см³ и скоростью выхода из форсунки от 50 до 150 м/с поток количества движения составляет от $2,5 \times 10^6$ Н·с/(м²·с) до $2,25 \times 10^7$ Н·с/(м²·с). Если струю охлаждающей жидкости распыляют при содействии газа, массовый процент газа в распыленной струе составляет от 0,5 до 5%, предпочтительный интервал процента газа составляет от 1 до 2% от массы распыляемого потока. При функционировании реактора с использованием переднего ряда форсунок и одного или большего числа задних рядов форсунок, когда передний ряд форсунок первым встречает горячий газ, а задние ряды находятся ниже по потоку от переднего ряда, предпочтительно, чтобы для рядов форсунок были установлены различные величины потока количества движения. Для переднего ряда поток количества движения находится в интервале от 4×10^6 Н·с/(м²·с) до 8×10^7 Н·с/(м²·с), а для заднего ряда от 3×10^6 Н·с/(м²·с) до 7×10^7 Н·с/(м²·с).

Охлаждающая жидкость инжектируется в систему и представляет собой более плотную среду по сравнению с горячим газом, в то же время горячий газ будет перемещаться с много большей скоростью. В одном воплощении отношение потока количества движения охлаждающей жидкости к потоку количества движения горячего газа, входящего на участок быстрого охлаждения, составляет от 10 до 2000. В одном воплощении при использовании некоторого количества рядов форсунок, самый передний или находящийся выше по потоку ряд форсунок характеризуется величиной указанного отношения количества движения в интервале от 40 до 800, при этом для заднего ряда (рядов) или находящегося (находящихся) ниже потоку ряда (рядов) величина этого отношения количества движения составляет от 30 до 700.

Охлаждающая жидкость инжектируется на участок быстрого охлаждения в направлении центра участка быстрого охлаждения и под каким-либо углом (углом наклона распылительной форсунки), заключенным между перпендикуляром к центральной оси участка быстрого охлаждения и параллелью относительно центральной оси участка быстрого охлаждения. Охлаждающая жидкость может быть также распылена, по существу, перпендикулярно стенке участка быстрого охлаждения. При этом струя будет иметь угол распыла в интервале от 30 до 120° и предпочтительно от 60 до 90°. Указанное направление инжектирования устанавливается относительно факела распыла, центральная линия которого направлена к центру участка быстрого охлаждения, или же центральная линия перпендикулярна стенке участка быстрого охлаждения. В другом воплощении угол распылительной форсунки для ввода охлаждающей жидкости на участок быстрого охлаждения является определенным углом наклона форсунки относительно центральной оси участка быстрого охлаждения, и этот угол находится в интервале от 0 до 30°, и желательно, чтобы величина указанного угла приблизительно была равна 15°, при этом угол факела распыла составляет от 30 до 90°, предпочтительно приблизительно 60°. В другом воплощении угол распылительной форсунки для охлаждающей жидкости, вводимой на участок быстрого охлаждения, является углом наклона форсунки относительно стенки участка быстрого охлаждения, а именно, углом в интервале от 0 до 30°. Желательно, чтобы величина этого угла приблизительно была равна 15°, при этом угол распыла составляет от 30 до 90°, предпочтительно составляет приблизительно 60°. Угол распыла характеризует величину факела распыла струи, выходящей из форсунки, а угол распылительной форсунки характеризует ориентацию распылительной форсунки для подачи распыленной струи на участок быстрого охлаждения.

Формы факела распыла для участка быстрого охлаждения включают факелы распыла в виде полый плоской струи, сплошной плоской струи, полого полного конуса, сплошного полного конуса, полого частичного конуса и сплошного частичного конуса, а также факелы распыла в форме полого эллипса и сплошного эллипса. Периферийная распылительная форсунка обычно ориентирована перпендикулярно стенке участка быстрого охлаждения, но за счет направления стенок выходного отверстия распылительной форсунки угол наклона распылительной форсунки может быть изменен так, чтобы она была ориентирована не перпендикулярно стенке указанного участка. Предпочтительной является конфигурация факела распыла, выходящего из периферийной форсунки, отверстие которой полностью следует круговому периметру участка быстрого охлаждения, при этом угол распыла находится в интервале от 0 до 120°, в конкретном воплощении угол распыла может находиться в интервале от 30 до 90°.

Хотя настоящее изобретение было описано в отношении рассмотренных выше предпочтительных воплощений, следует понимать, что изобретение не ограничивается описанными воплощениями, и предполагается, что оно охватывает различные модификации и эквивалентные выполнения в пределах границ объема приложенных пунктов формулы.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система быстрого охлаждения высокотемпературных потоков в реакторе, содержащая участок быстрого охлаждения, имеющий форму усеченной пирамиды с входным отверстием, выходным отверстием и стенкой участка быстрого охлаждения;

множество распылительных форсунок, встроенных в стенку участка быстрого охлаждения, имеющих угол распылительной форсунки, перпендикулярный или не прямой по отношению к стенке участка быстрого охлаждения, распылительные форсунки распыляют охлаждающую жидкость в участок быстрого охлаждения в направлении центра участка быстрого охлаждения;

при этом входное отверстие находится на первом конце участка быстрого охлаждения, имеющего форму усеченной пирамиды, а выходное отверстие находится на втором конце участка быстрого охлаждения, имеющего форму усеченной пирамиды, причем второй конец имеет больший размер, чем первый конец;

участок быстрого охлаждения имеет поперечное сечение в форме правильного многоугольника, и каждая распылительная форсунка имеет выходное отверстие, расположенное вровень со стенкой участка быстрого охлаждения;

при этом участок быстрого охлаждения имеет центральную ось, и множество распылительных форсунок распределены по периметру вокруг стенки участка быстрого охлаждения и размещены в пределах по меньшей мере двух кольцевых участков, где каждый кольцевой участок ориентирован перпендикулярно центральной оси участка быстрого охлаждения.

2. Система быстрого охлаждения по п.1, в которой участок быстрого охлаждения имеет центральную ось и в которой указанное множество распылительных форсунок составляет по меньшей мере 4 форсунки, которые расположены в плоскости, перпендикулярной центральной оси участка быстрого охлаждения, и распределены по круговому периметру стенки участка быстрого охлаждения.

3. Система быстрого охлаждения по п.1, в которой поперечное сечение участка быстрого охлаждения имеет форму правильного многоугольника, содержащего по меньшей мере 6 сторон.

4. Система быстрого охлаждения по п.1, в которой отношение площади поперечного сечения участка быстрого охлаждения на выходе к площади поперечного сечения участка быстрого охлаждения на входе составляет по меньшей мере 2, а отношение длины участка быстрого охлаждения к диаметру входа находится в интервале от 5 до 10.

5. Способ быстрого охлаждения высокоскоростного потока пара с использованием системы быстрого охлаждения по п.1, включающий

прохождение высокоскоростного потока пара к участку быстрого охлаждения;

распыление охлаждающей жидкости в участке быстрого охлаждения, причем охлаждающая жидкость имеет большую величину теплоты испарения, и охлаждающую жидкость распыляют в участке быстрого охлаждения в виде капель, имеющих средний диаметр менее 500 мкм, при этом охлаждающую жидкость подают в секцию закалки путем распыления газом, при этом охлаждающая жидкость не является реакционноспособной по отношению к ацетилену и выбрана из группы, состоящей из воды, влажного водяного пара, жидких углеводов и их смесей;

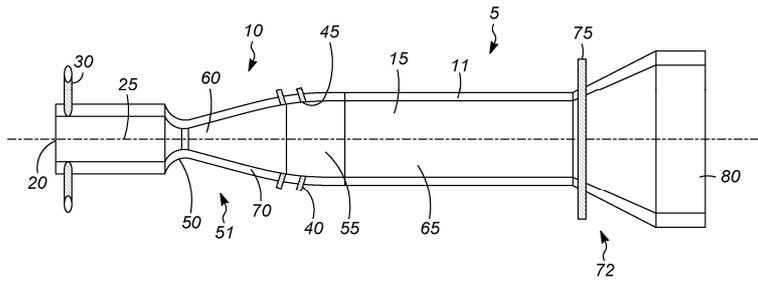
участок быстрого охлаждения имеет форму усеченного конуса, содержит входное отверстие, выходное отверстие и стенку участка быстрого охлаждения; и

множество распылительных форсунок, встроенных в стенку участка быстрого охлаждения, причем распылительные форсунки размещены, по существу, вровень со стенкой участка быстрого охлаждения.

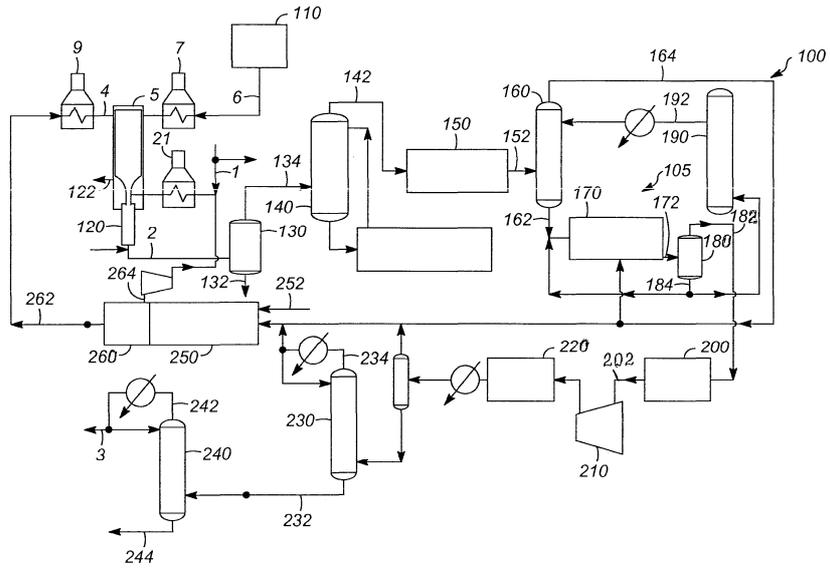
6. Способ по п.5, в котором охлаждающую жидкость подают на участок быстрого охлаждения в виде капель, имеющих средний диаметр в интервале от 10 до 500 мкм.

7. Способ по п.5, в котором поток высокоскоростного пара, входящий в участок быстрого охлаждения, имеет скорость в интервале от 100 до 1000 м/с и давление в интервале от 100 кПа до 1 МПа, и жидкость для быстрого охлаждения распыляют на участке быстрого охлаждения с расходом в интервале от 0,1 до 2 кг/с на 1 кг газа, входящего на участок быстрого охлаждения.

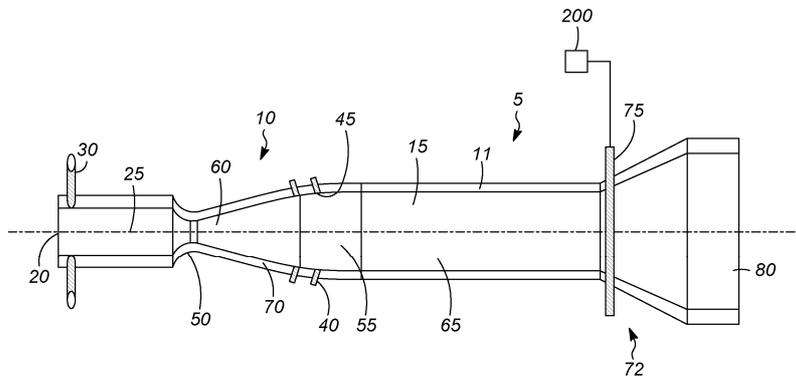
8. Способ по п.5, в котором отношение потока количества движения охлаждающей жидкости к потоку количества движения горячего газа, входящего на участок быстрого охлаждения, составляет от 20 до 1000.



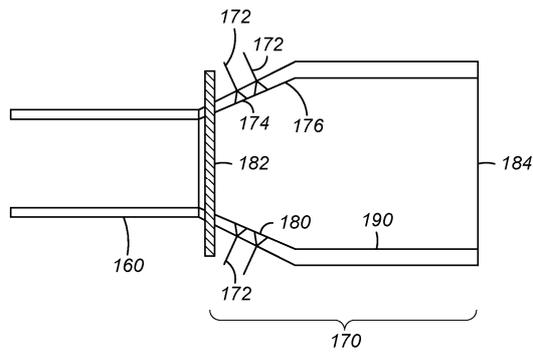
Фиг. 1



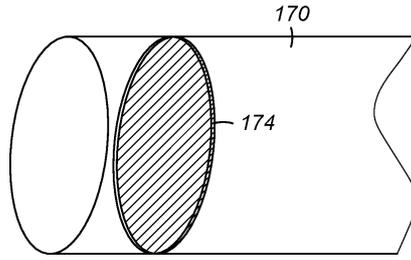
Фиг. 2



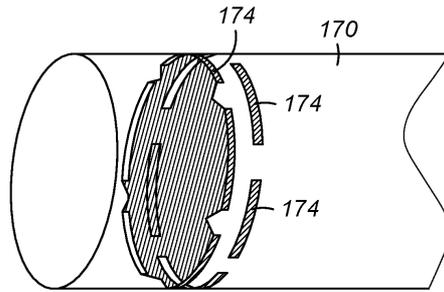
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

