

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **030900**

(13) **B1**

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

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2018.10.31**

**(21)** Номер заявки  
**201500256**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2013.08.19**

**(51)** Int. Cl. *C07C 2/00* (2006.01)  
*C07C 11/24* (2006.01)  
*B01J 19/10* (2006.01)

---

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНВЕРСИИ МЕТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАКТОРА СО СВЕРХЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ**

---

**(31)** 61/691,321; 13/967,391

**(32)** 2012.08.21; 2013.08.15

**(33)** US

**(43)** 2015.12.30

**(86)** PCT/US2013/055514

**(87)** WO 2014/031512 2014.02.27

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

**(72)** Изобретатель:  
**Бедард Роберт Л., Нонхеймер  
Кристофер, Таулер Гэвин П.,  
Леонард Лаура Е., Вудкок Грегори О.,  
Миттендорф Доналд Л. (US)**

**(74)** Представитель:  
**Воробьева Е.В. (RU)**

**(56)** US-A-4724272  
RU-C2-2438083  
US-B1-6443354  
US-A-4426248  
US-B2-7000306  
US-A1-20020154741  
US-A1-20110114285

---

**(57)** Устройство и способы для конверсии метана, содержащегося в сырьевом потоке, в ацетилен. Углеродородный поток вводят в сверхзвуковой реактор и подвергают пиролизу для конверсии по меньшей мере части метана в ацетилен. Выходящий из реактора поток может быть подвергнут обработке для конверсии ацетилена в другой углеводородный продукт.

---

**B1**

**030900**

**030900**

**B1**

Настоящая заявка испрашивает приоритет согласно предварительной заявке на патент США № 61/691321, поданной 21.08.2012, и заявки на патент США № 13/967391, поданной 15.08.2013.

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Описаны устройство для конверсии метана и способ конверсии метана, содержащегося в потоке углеводородов, в ацетилен, использующие реактор со сверхзвуковым потоком.

### **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 нефтя. 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 нефти). Однако при выборе используемого сырья определяющим фактором является, скорее всего, его стоимость. В течение многих лет крекинг нефти служит крупнейшим источником получения этилена, после которого следует отметить пиролиз этана и пропана, крекинг или дегидрогенизацию. 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.

Предпринятое 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, используют оксигенаты из углеводородов и, в частности, метанол или диметилэфир (DME). Оксигенаты могут быть получены из доступных материалов, таких как уголь, природный газ, утилизированные полимерные материалы (пластмассы), потоки различных углеродсодержащих отходов из промышленных предприятий и различные продукты и побочные продукты сельскохозяйственного производства. Производство метанола и других оксигенатов из этих типов сырьевого материала хорошо разработано и обычно включает один или более общеизвестных процессов, таких как производство синтетического газа с использованием никелевого или кобальтового катализатора на стадии парового риформинга, после которого проводят стадию синтеза метанола при относительного 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 цеолитное молекулярное сито, в частности молекулярное сито из алюмофосфатов металлов (ELAPO). Процессы ОТО и МТО, хотя они и эффективны, 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 большин-

стве 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 отношении 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 увеличения стоимости сырья 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, желательно обеспечить оправданные и экономически эффективные в коммерческом отношении пути использования метана в качестве сырья для производства этилена и других полезных продуктов.

#### **Подробное описание**

Одна предложенная альтернатива предшествующим способам производства олефинов, которые не имеют большой коммерческой привлекательности, включает транспортирование 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 SU392723A и 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 ускорения до скорости близкой к сверхзвуковой. Нагретую текучую среду транспортируют в сопло, в котором текучая среда-носитель 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 2,8 Маха и температуре 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 противодействия 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 устройство 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 устройство 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, проводят ли дальнейшую обработку такого углеводородного потока. Со ссылкой на

пример, "углеводородный поток" может включать поток метанового сырья, поток продукта, выходящего из сверхзвукового реактора, поток желаемого продукта, выходящего 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 технологического потока, которая включает линии для транспортирования каждой из частей технологического потока, описанные ниже. Используемый здесь термин "технологический поток" означает "углеводородный поток", а также может означать поток текучей среды-носителя, поток топлива, поток источника кислорода или любые потоки, используемые в системах и описанных здесь способах. Технологический поток может быть транспортирован через трубопроводную линию для технологического потока, которая содержит линии для транспортирования каждой из частей технологического потока. Любой из потока метанового сырья, потока топлива и потока источника кислорода может быть предварительно нагрет, например, с помощью одного или большего числа нагревателей.

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 с использованием реакторов со сверхзвуковым потоком 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 системами (установками), содержащими сверхзвуковой реактор, было основано на теории или научных исследованиях 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 негативных разрушающих воздействиях, которые могут оказывать на реактор со сверхзвуковым потоком и другое связанное с ним оборудование жесткие рабочие параметры проведения пиролиза метана. Проведенные ранее работы не принимали полностью во внимание или не были направлены на решение проблемы, связанной с жесткими рабочими параметрами процесса пиролиза. Например, сверхзвуковой реактор может работать при температурах вплоть до 3000°C или выше наряду с высокими давлениями. Эти высокие температуры и давления создают опасность механических повреждений (разрушений) стенок реактора в результате плавления, образования трещин или деформации ползучести. В частности, при высокой температуре было обнаружено, что образовавшиеся горячие пятна на стенках могут указывать на плавление корпуса. Кроме того, даже в случае выполнения стенок охлаждаемыми может происходить разрушение, связанное с химическими процессами, такими, например, как окислительно-восстановительные реакции, образующие не пассивные химически реагирующие продукты, которые захватываются газовым потоком, что приводит к рецессии. Помимо этого, может происходить окисление переходных металлов с образованием неадгезивных оксидов, которые захватываются газовым потоком.

Кроме того, поток носителя и сырьевой поток могут проходить через реактор со сверхзвуковой скоростью, что может быстро привести к эрозии многих материалов, которые могут быть использованы для изготовления корпуса реактора. К тому же, определенные вещества и примеси, которые могут присутствовать в потоке углеводородов, могут вызвать процессы коррозии, окисления и/или восстановления на стенках корпуса реактора и в других оборудовании или компонентах реактора. Факторами, создающими проблемы коррозии, окисления и/или восстановления, могут быть, например, такие вещества, как сероводород, вода, метантиол, арсин, пары ртути, а также карбидизация посредством реагирования с самим топливом или водородное охрупчивание. Другая проблема, которая может существовать при высоких температурах, заключается в реагировании с переходными частицами, такими как радикалы, например, гидроксид.

В соответствии с описанными здесь воплощениями обеспечиваются устройство и способы для конверсии метана, содержащегося в потоках углеводородов, в ацетилен и другие продукты. Устройство в соответствии с настоящим описанием и его 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 здесь устройство и способы, кроме того, улучшают способность устройства и относящихся к нему компонентов и оборудования оказывать сопротивление ухудшению состояния и возможному разрушению из-за экстремальных рабочих условий внутри реакто-

ра.

В соответствии с одним воплощением описанные здесь устройство 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, кроме 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 обеспечен в месте или местах размещения и использования описанных здесь систем и способов. Источник потока метанового сырья может находиться на том же нефтеперерабатывающем предприятии или предприятии химической переработки углеводородов, где осуществляются описанные здесь способы и системы, например, поток метанового сырья может быть получен в результате другого, осуществляемого 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 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 составляющую описанных здесь способов и систем. Поток метанового сырья, подаваемый для рассматриваемых здесь систем и способов, 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 поток метанового сырья имеет содержание метана в интервале от 65 до 100 мол.%. В другом примере содержание метана в углеводородном сырье находится в интервале от 80 до 100 мол.%. Ещё в одном примере содержание метана в углеводородном сырье находится в интервале от 90 до 100 мол.%.  
В одном примере содержание этана в метановом сырье находится в интервале от 0 до 35 мол.%, в другом примере от 0 до 10 мол.%. В одном примере содержание пропана в метановом сырье находится в интервале от 0 до 5 мол.% и в другом примере от 0 до 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 0 до 100 мол.%. В другом примере они могут присутствовать с концентрациями в интервале от 0 до 10 мол.% и могут присутствовать с концентрациями в интервале от 0 до 2 мол.%.  
Описанные здесь устройство 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 включать в себя один или большее число реакторов, способных создавать сверхзвуковой поток текучей среды-носителя и потока метанового сырья и расширение потока текучей среды-носителя 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 система могут содержать 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 по-

током, в качестве примера показан сверхзвуковой реактор. Сверхзвуковой реактор содержит корпус реактора, образующий большей частью реакционную камеру. Хотя реактор показан в виде единственного 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 сгорания для сжигания топлива и образования текучей среды-носителя с желаемой температурой и расходом. По усмотрению, реактор может содержать входное отверстие для текучей среды-носителя для ввода в реактор дополнительной текучей среды-носителя. Для инжектирования сжигаемого топлива, например водорода, в камеру сгорания реактор снабжен одной или большим количеством топливных форсунок (топливных инжекторов). Для инжектирования в камеру источника кислорода, способствующего сжиганию топлива, могут быть использованы те же или другие форсунки. Топливо и источник кислорода могут быть инжектированы в осевом направлении, тангенциальном направлении, радиальном направлении или ином направлении, включая сочетание указанных направлений. Топливо и кислород сжигают с получением потока горячего газа-носителя, обычно имеющего температуру в интервале от 1200°C до 3500°C в одном примере, от 2000°C до 3500°C в другом примере и от 2500°C до 3200°C ещё в одном примере. Кроме того, предполагается получением потока текучей среды-носителя с помощью других известных способов, включая способы без сжигания топлива. В соответствии с одним примером поток текучей среды-носителя имеет давление 1 атм или выше, в другом примере давление составляет 2 атм или выше, и ещё в одном примере - более 4 атм.

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

Для инжектирования потока метанового сырья в реактор, где он смешивается с текучей средой-носителем, служит устройство для подачи сырья. Устройство для подачи сырья может содержать один или большее количество инжекторов для инъекции исходного сырья в сопло, в зону смешивания, в зону диффузора или реакционную зону или камеру. Инжектор может быть выполнен в виде распределительного коллектора, содержащего, например, множество инжекционных отверстий или сопел для инъекции сырья в реактор.

Согласно одному воплощению реактор может содержать зону смешения для смешивания текучей среды-носителя и сырьевого потока. Согласно одному воплощению, реактор может содержать отдельную зону смешения, расположенную, например, между сверхзвуковым расширительным устройством и зоной расположения диффузора, в то время как в соответствии с другим решением зона смешения включена в диффузорный участок, и смешение может происходить в сопле, зоне расширения или в реакционной зоне реактора. Зона расширения образована расширяющейся стенкой для быстрого уменьшения скорости 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 и/или ниже по ходу движения потока от реакционной зоны реактора. Текучая среда быстро охлаждается в зоне 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 быстрого охлаждения могут быть использованы форсунки.

Поток продукта (эффлюента) выходит из реактора через выпускное отверстие и, как отмечено выше, образует часть углеводородного потока. Указанный 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 поток полученного в реакторе продукта имеет перед вводом охлаждающей среды концентрацию ацетилена в интервале от 2 до 30 мол.%. В другом примере концентрация ацетилена находится в интервале от 5 до 25 мол.% и в ещё одном примере от 8 до 23 мол.%.

Корпус реактор содержит оболочку. Следует отметить, что термин "оболочка реактора" относится к стенке или стенкам, образующим корпус реактора, который образует реакционную камеру. Оболочка

реактора обычно имеет кольцевую структуру, в целом образующую полую внутри центральную реакционную камеру. Оболочка 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 реактора может также содержать различные зоны, компоненты и/или модули сверхзвукового реактора, указанные выше и дополнительно описанные ниже. Оболочка 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.

В соответствии с одним воплощением один или большее количество участков стенки реактора или оболочки сформованы посредством литья. При этом указанные один или большее количество участков могут быть не образованы с помощью сварки или формования или других способов изготовления, хотя на отливке может быть осуществлена дополнительная обработка, как это описано ниже. Без привлечения какой-либо теории предполагается, что поскольку сварные швы в большинстве случаев имеют остаточные напряжения, формированием стенки или стенок реактора с помощью сварки можно изготовить реактор, который в большей степени может быть подвержен повреждению и разрушению при высоких температурах и давлениях. Кроме того, благодаря изменению микроструктуры и возможным градиентам состава сварные швы в большей степени могут быть подвержены коррозии и разрушению. Подобным образом, считается, что формование стенок реактора может привести к значительным остаточным напряжениям в стенках реактора, что обуславливает подобные проблемы функционирования реактора при высоких температурах и давлениях. Таким образом, за счет формования части оболочки реактора посредством литья обеспечивается более изотропная микроструктура. Литая часть оболочки реактора может обеспечить коррозионную стойкость по сравнению с подобными элементами конструкции, изготовленными с помощью других способов, таких как сварка или штамповка. Формование оболочки реактора с помощью литья может также обеспечить большую равномерность теплового потока и большую равномерность температуры в указанном элементе реактора. Формирование части оболочки реактора из отливки может, кроме того, обеспечить лучшую характеристику высокотемпературной ползучести, более равномерную высокотемпературную ползучесть и большее сопротивление разрушению (большую прочность) по сравнению с формированием оболочки с помощью других методов.

В соответствии с одним воплощением литье может включать направленное литье для обеспечения повышенной термостойкости и стойкости к ползучести при повышенных реакционных температурах и давлениях. Согласно одному воплощению отливка содержит структуру из столбчатых кристаллов. Согласно другому воплощению отливка содержит монокристаллическую структуру.

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

Для формирования всей оболочки реактора может быть использована единственная отливка, или же оболочка реактора может содержать отдельно отлитые компоненты или модули, более подробно описанные ниже, которые объединены с образованием оболочки реактора. Кроме того, если оболочка реактора содержит различные слои, включая покрытия, внутреннюю и внешнюю оболочки и т.п., описанные более подробно ниже, эти слои могут быть отлиты отдельно или заодно, и после этого поддерживаются отдельно друг от друга или могут быть соединены вместе.

В соответствии с другими различными воплощениями одна или большее количество частей оболочки сверхзвукового реактора могут быть образованы известными способами, иными, чем литье, например, с использованием порошковой металлургии, и в этом случае плотность указанной части оболочки может быть повышена с помощью горячего изостатического прессования, позволяющего спрессовать порошок с основой, или посредством лазерного спекания порошка, или других подходящих способов спекания; или указанная часть оболочки может быть получена из заготовки посредством механической обработки на станке.

В одном воплощении по меньшей мере часть оболочки реактора выполнена из материала, имеющего высокую температуру плавления для того, чтобы она выдерживала высокие рабочие температуры в сверхзвуковом реакторе. Согласно одному воплощению один или большее число материалов, образующих часть оболочки реактора, могут иметь продолжительную малоцикловую усталостную долговечность, высокий предел прочности на растяжение, сопротивление ползучести и механическому разрушению, сопротивляемость к окислению и совместимость с охлаждающей средой и топливами. В одном примере по меньшей мере часть оболочки реактора выполнена из материала, имеющего температуру плавления в интервале от 1200°C до 4000°C, в другом примере от 1200°C до 4000°C, и ещё в одном примере от 1800°C до 3500°C. Используемые материалы, кроме того, могут демонстрировать стабильность микроструктуры при проведении различных процессов тепловой и механической обработки, совместимость с процессами термосварки и хорошую адгезию стойких к окислению покрытий. Некоторые пред-

почтительные материалы для формования по меньшей мере части оболочки реактора включают суперсплавы (высоколегированные сплавы) и алюминиды никеля и гамма алюминиды титана. Согласно одному воплощению указанный суперсплав представляет собой суперсплав на основе никеля, и в одном воплощении суперсплав представляет собой суперсплав на основе железа.

Согласно одному воплощению оболочка реактора или часть стенки выполнена из суперсплава. При этом стенка может обеспечить исключительную механическую прочность и сопротивление ползучести при температурах горения и пиролиза, имеющих место в реакторе. В результате предложенное устройство может также ограничить возможность плавления и повреждения, обусловленного рабочими температурами и давлениями в камере реактора.

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

В соответствии с ещё одним воплощением часть оболочки реактора 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 воплощением стенки реактора выполнены из материала, обладающего высокой теплопроводностью. Поэтому тепло от реакционной камеры может быть быстро отведено. Это может предотвратить нагревание внутренней поверхности оболочки реактора до поверхностной температуры равной или близкой температуре в реакторе, что может привести к плавлению, химическому возгоранию или другому повреждению стенок оболочки реактора. В одном примере один или большее число участков реактора могут быть выполнены из материала, имеющего коэффициент теплопроводности в интервале от около 200 до около 500 Вт/м·К. В другом примере коэффициент теплопроводности находится в интервале от около 300 до около 450 Вт/м·К. В следующем примере коэффициент теплопроводности находится в интервале от около 200 до около 346 Вт/м·К и ещё в одном примере - от около 325 до около 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 он имеет весьма высокую теплопроводность. Поскольку в рассматриваемом воплощении теплота от реакционной камеры быстро отводится, оболочка реактора не подвержена в значительной степени воздействию температуры, имеющей место 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. В одном примере часть оболочки реактора выполнена из материала, имеющего температуру плавления в интервале от 500 до 2000°C. В другом примере часть оболочки реактора выполнена из материала, имеющего температуру плавления в интервале от 800 до 1300°C, и ещё в одном примере может быть выполнена из материала с температурой плавления от 1000 до 1200°C.

Согласно одному воплощению материал, обладающий высокой теплопроводностью, представляет собой металл или металлический сплав. В одном воплощении одна или большее число частей оболочки реактора могут быть выполнены из материала, выбранного из группы, включающей медь, серебро, алюминий, цирконий, ниобий, и их сплавы. В этой связи необходимо отметить, что один или более из перечисленных материалов могут быть использованы также для изготовления покрытия для основы оболочки реактора или для изготовления слоя многослойной оболочки реактора. Согласно одному воплощению часть оболочки реактора содержит медь или сплав меди. В одном примере часть оболочки 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 так, чтобы температура оболочки реактора поддерживалась более низкой и была допустимой температурой.

Согласно другому воплощению оболочка реактора может содержать ряд слоев. Оболочка реактора содержит внутренний слой, образующий реакционную камеру, и внешний слой, образованный вокруг внутреннего слоя. Хотя оболочка реактора для упрощения пояснения содержит два слоя, следует понимать, что оболочка реактора может содержать три или большее количество слоев, включая один или большее число промежуточных слоев между внутренним слоем и внешним слоем. Кроме того, один или большее количество дополнительных слоев могут быть размещены снаружи внешнего слоя. Один или большее количество дополнительных слоев могут быть размещены внутри относительно внутреннего слоя.

Согласно одному воплощению внутренний слой представляет собой покрытие на внутренней по-

верхности внешнего слоя или любого из переходных промежуточных слоев. При этом внешний слой образует основу, на которую нанесено покрытие, формирующее внутренний слой. В качестве альтернативы внутренние слои могут обеспечить основу, на которую нанесено покрытие, формирующее внешний слой. В соответствии с этим воплощением один или оба из внутреннего слоя и внешнего слоя могут быть выполнены в виде отливки, как отмечено выше, или выполнены другими известными способами.

В одном воплощении по меньшей мере часть внутреннего слоя содержит материал с высокой температурой плавления, указанный выше. В соответствии с другим воплощением внутренний слой содержит материал, выбранный из группы, включающей карбид, нитрид, диборид титана, силаноновую керамику, диоксид циркония, диоксид тория, углерод-углеродный композит, вольфрам, тантал, молибден, хром, никель и их сплавы. Согласно ещё одному воплощению внутренний слой выполнен из суперсплава, а согласно другому воплощению выполнен из материала, выбранного из группы, включающей двухфазную (или дуплексную) нержавеющую сталь, супер двухфазную нержавеющую сталь и высокотемпературный сплав на основе никеля, обладающий низкой ползучестью. При этом материал внутреннего слоя может быть выбран так, чтобы обеспечить подходящие рабочие характеристики реактора, в особенности, в связи с тем, что этот слой подвержен в реакционной камере воздействию жестких рабочих условий, включающих высокую температуру в камере.

В другом воплощении по меньшей мере часть внутреннего слоя содержит материал, обладающий высокой теплопроводностью, такой как указан выше. В соответствии с другим воплощением внутренний слой выполнен из материала, выбранного из группы материалов, включающей медь, серебро, алюминий, цирконий, ниобий и их сплавы. Согласно ещё одному воплощению внутренний слой выполнен из материала, выбранного из группы материалов, 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, содержащего ниобий и серебро. При этом материал внутреннего слоя может быть выбран так, чтобы обеспечить подходящие рабочие характеристики, в особенности, в связи с тем, что этот слой подвержен в реакционной камере воздействию жестких рабочих условий, включающих высокую температуру в камере.

Согласно одному воплощению внешний слой может быть выполнен из иного материала, чем внутренний слой. Материал внешнего слоя может быть выбран с возможностью выполнения функции несущего элемента конструкции или обеспечения другого желаемого свойства оболочки реактора. В одном примере внешний слой или промежуточный слой выполнен из коррозионно-стойкой стали. Другие подходящие материалы для образования внешнего слоя оболочки реактора включают, но не в качестве ограничения, двухфазную нержавеющую сталь, супер двухфазную нержавеющую сталь, высокотемпературный суперсплав на основе никеля, обладающий низкой ползучестью, высокотемпературный суперсплав Nimonic™ на основе никеля, обладающий низкой ползучестью, сплавы Inco™ 718, Haynes™ 230 или другие никелевые сплавы, в частности, Mar-M-247.

Согласно одному воплощению внутренний слой снабжен теплозащитным покрытием. Теплозащитное покрытие может быть выполнено из материала, который обладает желаемыми свойствами для использования в реакционной камере, такими, например, как высокая температура плавления, чтобы реактор выдерживал высокие температуры, имеющее место в реакционной камере. Например, теплозащитное покрытие может содержать диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия, лантан и гексаалюминат лантана, легированный редкоземельными элементами, карбид гафния или вольфрам, поскольку указанные материалы имеют высокие температуры плавления, хорошие механические свойства при высоких рабочих температурах и дополнительно низкую теплопроводность.

В соответствии с одним воплощением между внутренним слоем и поверхностью внешнего слоя размещен соединительный слой, представляющий собой теплозащитное покрытие согласно одному воплощению. Соединительный слой может содержать сплавы NiCrAlY, NiCoCrAlY, которые нанесены на металлическую поверхность с помощью плазменного напыления или электронно-лучевого нанесения покрытия методом осаждения из паровой фазы (EB/ PVD), или с помощью других способов, известных в уровне техники. Другие соединительные слои для медных сплавов могут включать слой NiAl, нанесенный с помощью плазменного напыления при низком давлении или плазменного напыления в вакууме, или с помощью других методов, известных в уровне техники.

Слоистая оболочка реактора может быть изготовлена любым известным способом, известным в уровне техники. Согласно одному воплощению покрытие внутреннего диаметра, полученное на оправке, может быть использовано для образования слоистой оболочки реактора за счет размещения покрытия на материале основы. В соответствии с другим воплощением для получения слоистой оболочки реактора на основе может быть образовано покрытие с помощью горячего изостатического прессования. В соответствии с другим воплощением для создания покрытия на основе может быть использован лакирующий слой. В соответствии с ещё одним воплощением внутренний слой и внешние слои могут быть образованы по отдельности и соединены друг с другом. Пример в этом воплощении включает раздельное литье внешнего слоя и внутреннего слоя и соединение их с помощью сваркопайки с образованием слоистой оболочки реактора. Кроме того, может быть использовано бинарное литье при литье второго сплава вокруг первого сплава.

Согласно другому воплощению по меньшей мере часть оболочки реактора может содержать внутреннюю оболочку и отделенную от неё внешнюю оболочку. Подобно описанной выше слоистой оболочке реактора, оболочка реактора, содержащая разделенные внутреннюю оболочку и внешнюю оболочку, позволяет внутренней оболочке выдерживать рабочие параметры реакционной камеры, в то время как внешняя оболочка обеспечивает основу структуры и/или другие желаемые свойства оболочки реактора.

В соответствии с одним воплощением по меньшей мере часть внутренней оболочки содержит материал с высокой температурой плавления из числа указанных выше. Согласно другому воплощению по меньшей мере часть внутренней оболочки выполнена из материала, выбранного из группы, включающей карбид, нитрид, диборид титана, силановой керамики, диоксида циркония, диоксида тория, углерод-углеродного композита, вольфрама, тантала, молибдена, хрома, никеля и их сплавов. Согласно ещё одному воплощению по меньшей мере часть внутреннего слоя выполнена из суперсплава, а согласно другому воплощению выполнена из материала, выбранного из группы, включающей двухфазную нержавеющую сталь, супер двухфазную нержавеющую сталь и высокотемпературный суперсплав на основе никеля, обладающий низкой ползучестью. При этом внутренняя оболочка может быть выбрана с возможностью обеспечения выгодных рабочих характеристик, в особенности, если она подвержена воздействию жестких рабочих параметров в реакционной камере.

В соответствии с другим воплощением по меньшей мере часть внутренней оболочки выполнена из материала с высокой теплопроводностью. Согласно другому воплощению внутренняя оболочка выполнена из материала, выбранного из группы, включающей медь, серебро, алюминий, цирконий, ниобий и их сплавы. Согласно ещё одному воплощению внутренняя оболочка выполнена из материала, выбранного из группы материалов, 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, внутренняя оболочка может быть выполнена из сплава, содержащего ниобий и серебро. В следующем воплощении внутренняя оболочка может быть выполнена из материала, содержащего медный сплав, подвергнутый дисперсионному твердению с выделением частиц второй фазы, которые позволяют сохранить высокую теплопроводность. При этом внутренняя оболочка может быть выбрана так, чтобы обеспечить подходящие рабочие характеристики, в особенности, в связи с тем, что в реакционной камере она находится под воздействием жестких рабочих условий, включающих высокую температуру в камере.

Согласно одному воплощению внешняя оболочка может быть выполнена из иного материала, чем внутренняя оболочка. Внешняя оболочка может быть выбрана для обеспечения функции несущего элемента конструкции или других желаемых свойств оболочки реактора. В одном примере внешняя оболочка внешнего слоя оболочки реактора включают, но не в качестве ограничения, двухфазную нержавеющую сталь, супер двухфазную нержавеющую сталь и высокотемпературный суперсплав на основе никеля, обладающий низкой ползучестью, высокотемпературный суперсплав на основе никеля, обладающий низкой ползучестью сплав Nimonic™, Inco™ 718, Haynes™ 230 или другие никелевые сплавы, в частности, Mar-M-247.

В соответствии с одним воплощением один или оба из внутренней оболочки и внешней оболочки выполнены в виде отливки, как это описано выше.

Согласно одному воплощению внешняя оболочка включает в себя трубную доску. В соответствии с этим воплощением с внутренней стороны внешней оболочки размещена по меньшей мере одна дополнительная внутренняя оболочка с образованием второй реакционной камеры. В этом случае ряд реакций пиролиза могут происходить в ряде образованных реакционных камер. В таком воплощении каждая из внутренних оболочек может содержать некоторые или все компоненты, описанные выше, относящиеся к сверхзвуковому реактору, или некоторые компоненты отдельных внутренних оболочек могут быть выполнены как одно целое.

В соответствии с одним воплощением некоторые из внутренних оболочек реактора могут быть ориентированы в противоположных направлениях. В этом случае любое осевое усилие, создаваемое высокоскоростными потоками, протекающими через внутренние оболочки, будет компенсировано за счет ориентированных в противоположном направлении внутренних оболочек реактора.

Согласно одному воплощению внутренняя оболочка размещена на определенном расстоянии от внешней оболочки с образованием между ними канала. В соответствии с этим воплощением канал может образовать зону повышенного давления. Зона повышенного давления находится под давлением, которое поддерживается в ней приблизительно равным давлением в реакционной камере. При этом внутренняя оболочка может быть сконфигурирована так, что она не должна выдерживать большую разность давления между её внутренней поверхностью и внешней поверхностью. Внутренняя оболочка, следовательно, может быть выполнена из материала, имеющего относительно низкое максимально допустимое давление и/или имеет относительно тонкую стенку. Следовательно, внешняя оболочка может обеспечить основу конструкции, а также может служить сосудом высокого давления, выдерживающим разность между давлением в зоне повышенного давления и давлением снаружи внешней оболочки. В другом воплощении (не показано) внутренняя оболочка может примыкать к внешней оболочке.

В одном воплощении в канале дополнительно может быть размещен один или большее число датчиков. Эти датчики могут обнаруживать или измерять переменную величину, например, одно или боль-

шее число веществ или параметров в канале. Примеры датчиков включают датчики давления, датчики температуры, химические датчики, в частности датчики газа, датчики водорода, датчики углеводородов, датчики метана и другие датчики. Датчики могут быть электрически соединены с одним или большим числом систем индикации, мониторинга или контроля. В одном воплощении канал дополнительно снабжен одним или большим числом опорных элементов для удерживания внутренней оболочки на определенном расстоянии от внешней оболочки.

В соответствии с другим воплощением внутри по меньшей мере части оболочки реактора может быть размещена футеровка, препятствующая повреждению части оболочки реактора вследствие воздействия жестких рабочих параметров в камере реактора. Футеровка может проходить вдоль внутренней поверхности оболочки реактора и может прилегать к оболочке реактора или может быть отделена от неё зазором.

В одном воплощении футеровка размещена с возможностью её удаления. Указанная удаляемая футеровка может содержать углерод, причем в виде углерод-углеродного композита, пиролитического углерода, стекловидного углерода, или других видов углерода, или высокотемпературный сплав, и после повреждения футеровка может быть удалена и заменена. Указанная удаляемая футеровка может защищать оболочку реактора от воздействия жестких рабочих условий в реакционной камере.

В соответствии с другим воплощением футеровка представляет собой самовосстанавливающуюся футеровку и способна восстанавливаться во время работы сверхзвукового реактора и/или когда сверхзвуковой реактор временно выведен из эксплуатации. В одном воплощении самовосстанавливающаяся футеровка содержит углерод, который катализируют, что способствует образованию углерода или кокса вдоль внутренней поверхности оболочки реактора для восстановления углеродной футеровки. В другом воплощении самовосстанавливающаяся футеровка содержит наноструктурированный слой кокса. Согласно ещё одному воплощению самовосстанавливающаяся футеровка представляет собой футеровку с наноструктурированным слоем графена. В другом воплощении наноструктурированный слой обладает направленной теплопроводностью для быстрого отвода теплоты от реакционной камеры во время работы реактора.

В одном воплощении футеровка представляет собой покрытие с низкой теплопроводностью, которое обеспечивает защиту используемых металлических сплавов за счет снижения теплопередачи. В другом воплощении может быть использована свободнолежащая удерживаемая футеровка, изготовленная из материалов, обладающих стойкостью к высоким температурам и низкой теплопроводностью. Такая футеровка может уменьшить теплопередачу и эрозию. Свободнолежащая удерживаемая футеровка может быть сформирована посредством плазменного напыления HfC или рения в вакууме на подходящую оправку, механически обработанную до окончательной формы и размеров, соответствующих требуемому внешнему диаметру футеровки. За напыленным покрытием из HfC или рения может быть расположен слой вольфрама, способный поддерживать структуру оболочки при необходимых температурах. За слоем вольфрама может следовать структурный слой молибдена и возможно другой структурный слой из вольфрама и/или никеля, кобальта, хрома, иттрий-алюминия. Все слои могут быть нанесены с помощью плазменного напыления в вакууме и будут представлять собой отдельные слои после химического травления внутреннего диаметра оправки.

В одном воплощении одна или большее количество частей оболочки реактора обеспечена активным охлаждением для отвода теплоты от камеры реактора и ограничения плавления и другого повреждения оболочки реактора вследствие высоких температур и других условий функционирования. В одном воплощении активное охлаждение обеспечивает система активного охлаждения, которая содержит множество сквозных проходов, выполненных в оболочке реактора для циркуляции охлаждающего агента по длине оболочки реактора для отвода от неё теплоты. Система активного охлаждения может также содержать источник охлаждающего агента, обеспечивающий прохождение сжатого охлаждающего агента через проходы. Проходы могут быть выполнены в целом по периферии вокруг оболочки реактора, которая в одном воплощении имеет в целом кольцевую конфигурацию. Для подачи охлаждающего агента в сквозные проходы и отвода из этих проходов могут быть также использованы коллекторные трубы.

В одном воплощении проходы могут представлять собой один или множество каналов, выполненных в поверхности оболочки реактора. В другом воплощении проходы для охлаждения могут представлять собой одну или множество труб или в целом полые туннели, выполненные в оболочке реактора для протекания через них охлаждающей текучей среды. Сквозные проходы могут проходить вдоль одной или более поверхностей реактора, или они могут быть выполнены в стенке оболочки реактора. Сквозные проходы могут быть выполнены с различной ориентацией и могут проходить в осевом направлении оболочки реактора, по периферии вокруг оболочки реактора, в радиальном направлении через оболочку реактора, по спирали вокруг кольцевой оболочки реактора или могут иметь иную ориентацию, известную в уровне техники.

Согласно ещё одному воплощению сквозные проходы для охлаждения могут представлять собой один или большее число зазоров между внутренними и внешними слоями, футеровками, внутренними и внешними оболочками, описанными выше, для образования одного или большего числа каналов охлаждения, например, канала. Кроме того, в зазоре между внутренним и внешним слоями, футеровками или

оболочками может быть установлен переключатель потока, обеспечивающий возможность направления охлаждающей текучей среды по желаемому пути движения. В зазоре между внутренним и внешним слоями для увеличения площади поверхности охлаждения могут быть размещены выступающие элементы, например, шипы, ребра или другие выступающие элементы. Кроме того, система охлаждения может включать комбинацию различных указанных выше типов сквозных проходов для охлаждения. Например, сквозные проходы для охлаждения могут включать канал охлаждения между слоями оболочки реактора наряду с каналами, выполненными в поверхности одного из внутреннего слоя и внешнего слоя так, что хладагент, протекающий через охлаждающие каналы, проходит также через каналы оболочки реактора.

Сквозные проходы для охлаждения могут быть образованы различными способами. В одном воплощении указанные сквозные проходы для охлаждения получены в оболочке реактора путем машинной механической обработки. В другом воплощении вдоль поверхности (поверхностей) одного или большего количества описанных выше слоев, или оболочек, оболочки реактора могут быть выполнены части проходов, а полные сквозные проходы могут быть образованы между слоями или оболочками при соединении указанных слоев и/или оболочек друг с другом. Подобным образом, части проходов могут быть выполнены на поверхности стенки реактора или слоя, и на указанные части проходов могут быть нанесены покрытие или футеровка для образования полностью завершенных проходов между стенкой реактора или слоем и покрытием или футеровкой. Согласно ещё одному воплощению покрытие или футеровка могут быть нанесены с конфигурацией, образующей полностью завершённый проход или часть прохода. Такие завершённые проходы или части сквозных проходов могут быть выполнены, как указано выше, с помощью машинной механической обработки, литья или во время нанесения определенного покрытия, слоя или футеровки, или с помощью другого средства. Сквозные проходы для охлаждения, кроме того, могут быть образованы с помощью других способов, широко известных в уровне техники. С целью увеличения площади поверхности охлаждения внутри сквозных проходов могут быть размещены шипы или ребра или другие выступающие элементы. На футеровку может быть нанесено покрытие с низкой теплопроводностью с целью защиты используемого металлического сплава, уменьшения теплопередачи к элементам активного охлаждения и повышения эффективности системы охлаждения. Для примера, покрытием может быть никелевый или медный сплав, который наносят с помощью вакуумного плазменного напыления на внутреннюю футеровку, начиная с соединительного слоя, который обеспечивает адгезию металла с низкой теплопроводностью на несущем металле. Соединительный слой может содержать никель, хром, кобальт, алюминий и/или иттрий, после которых следует молибден и вольфрам, и после них, наконец, HfC или HfO<sub>2</sub>.

Стенки, которые образуют сквозные проходы, могут способствовать передаче теплоты циркулирующему охлаждающему агенту, действуя в качестве теплоотводов, и, кроме того, воспринимают нагрузки, обусловленные давлением хладагента. В одном воплощении толщина стенки, нагреваемой горячим газом (часть стенки оболочки реактора, между охлаждающим агентом и горячими продуктами сгорания), оптимизирована для минимизации сопротивления тепловому потоку, проходящему через стенку футеровки в каналы с хладагентом, и обеспечения в то же время целостности конструкции в отношении нагрузок, создаваемых давлением, и тепловых нагрузок. В одном примере толщина стенки, нагреваемой горячим газом, находится в интервале от 0,254 см (0,10 дюйма) до 0,9525 см (0,375 дюйма), в другом примере в интервале от 0,381 см (0,15 дюйма) до 0,5715 см (0,225 дюйма). В другом воплощении стенки между проходами для охлаждения оптимизированы как теплоотводы для обеспечения низкого термического сопротивления при передаче теплоты от горячей стенки к охлаждающему агенту, а также сохранения целостности конструкции.

В другом воплощении проходы для охлаждающего агента снабжены интенсификаторами потока, которые интенсифицируют поток охлаждающего агента для повышения коэффициента теплоотдачи и увеличения теплового потока от стенки к охлаждающему агенту. Согласно одному воплощению интенсификаторы потока представляют собой ребра, ориентированные перпендикулярно или расположенные под меньшим углом к направлению потока хладагента для разрушения и повторного нарастания пограничного слоя хладагента, что увеличивает коэффициент теплопередачи и тепловой поток от стенки к хладагенту. Вихри, создаваемые ребрами, расположенными под углом менее 90 градусов, будут создавать вихревую составляющую скорости, перемешивание охлаждающего агента и интенсивность передачи тепла от стенки к охлаждающему агенту.

После завершения сборки оболочки реактора трубы коллекторов и сеть каналов с охлаждающим агентом соединяют с образованием системы циркуляции охлаждающего агента, обеспечивающей отвод теплоты, выделяемой в процессе сжигания топлива в сверхзвуковом реакторе, в количестве, необходимым для поддержания температуры стенок реакторов на допустимом уровне.

В одном воплощении охлаждающий агент сжимают до относительно высокого давления так, чтобы охлаждающий агент, протекающий через часть оболочки реактора, находился под избыточным давлением в интервале от около 23,8 атм (350 psig) до около 217,6 атм (3200 psig), в другом воплощении - от около 68 атм (1000 psig) до около 136 атм (2000 psig) и ещё в одном воплощении от около 102 атм (1500 psig) до около 108,8 атм (1600 psig). Относительно высокое давление уменьшает проблему, возникаю-

щую при циркуляции охлаждающего агента, поскольку позволяет избежать фазового изменения при использовании в качестве охлаждающей текучей среды, например, воды. Давление охлаждающего агента, расход циркуляции и температуру устанавливают так, чтобы обеспечить скорость потока охлаждающего агента, достаточную для отвода части теплоты, генерируемой в реакционной камере, для поддержания допустимой температуры стенок реактора, в частности, в процессе сжигания топлива и расширения сверхзвукового потока теплоносителя. В одном примере расход охлаждающего агента через вышеупомянутые проходы находится в интервале от около 28000 фунт/ч до около 47000 фунт/ч, и в другом примере расход охлаждающего агента составляет от около 33500 фунт/ч до около 80000 фунт/ч. В одном примере входная температура охлаждающего агента находится в интервале от около 10°C (50°F) до около 121°C (250°F), в другом примере составляет от около 29°C (85°F) до около 66°C (150°F). В одном примере выходная температура охлаждающего агента находится в интервале от около 38°C (100°F) до около 371°C (700°F), в другом примере составляет от около 121°C (250°F) до около 315°C (600°F). При этом могут быть использованы разнообразные охлаждающие агенты, известные в уровне техники. В одном примере охлаждающим агентом является вода. В другом примере, в качестве охлаждающего агента используют водяной пар, водород или метан, и, кроме того, охлаждающий агент может содержать смесь текучих сред.

В одном воплощении в качестве активного охлаждения может быть использовано инжекционное охлаждение для отвода теплоты от реакционной камеры и ограничения возможности плавления или другого повреждения оболочки реактора вследствие высоких температур и других условий функционирования реактора. Для инжекционного охлаждения может быть использован газ или жидкость. В одном воплощении для инжекционного охлаждения, обеспечивающего эффективную теплопередачу, может быть использован ряд инжекционных струй. Например, на охлаждаемую оболочку могут быть направлены высокоскоростные струи. При контактировании охлаждающей струи с оболочкой она отклоняется во всех направлениях параллельно поверхности оболочки. Инжекционные сопла могут быть размещены вокруг оболочки, например, хаотично или в определенном порядке. Для инжекционного охлаждения могут быть использованы технические средства, например, высокоэффективные инжекционные системы, использующие расширение пара для охлаждения горячей стенки, инжестирование жидкости на стенку и газовое эффузионное охлаждение.

В одном воплощении в качестве средства активного охлаждения может быть использована тепловая труба. Тепловые трубы могут передавать потоки тепловой энергии в 250 раз большие, чем могут передавать сплошные медные теплопередающие элементы.

В одном воплощении может быть использована защитная пленка (защитный тонкий слой), образованная вдоль внутренней поверхности по меньшей мере одного участка оболочки реактора для создания, по меньшей мере, частичного защитного барьера для реакционной камеры. Защитная пленка может препятствовать повреждению оболочки реактора, например, вследствие плавления, эрозии или коррозии оболочки из-за высоких температур, расходов и других жестких рабочих параметров, имеющих место в реакционной камере.

В одном воплощении защитная пленка представляет собой защитный барьер из холодной текучей среды. Используемое здесь выражение "холодный защитный барьер из текучей среды" относится к температуре защитного барьера из текучей среды в сравнении с температурой реакционной камеры. При этом холодный защитный барьер из текучей среды может иметь высокую температуру, но по отношению к камере реактора является холодным. В одном воплощении температура холодного защитного барьера из текучей среды находится в интервале от около 164°C (3000°F) до около 2760°C (5000°F). В другом примере температура холодного барьера из текучей среды находится в интервале от около 1982°C (3600°F) до около 2538°C (4600°F).

В одном примере холодный защитный барьер из текучей среды может представлять собой защитный барьер из холодных паров. В другом примере холодный защитный барьер из текучей среды может представлять собой защитный барьер из расплавленного металла. В другом примере холодный защитный барьер из текучей среды может содержать воду или водяной пар. В другом примере холодный защитный барьер из текучей среды может содержать воздух или водород. Согласно ещё одному примеру холодный защитный барьер из текучей среды может содержать метан. Холодный защитный барьер из текучей среды может содержать также другие текучие среды, известные в уровне техники, или комбинацию текучих сред. В одном примере холодный защитный барьер образован текучей средой, которая представляет собой по меньшей мере часть технологического потока.

Защитная пленка может быть образована поверх внутренней поверхности части оболочки реактора различными путями. В одном примере оболочка реактора содержит сквозные отверстия, проходящие по меньшей мере через часть оболочки, которые обеспечивают протекание через них холодной текучей среды и образование холодного защитного барьера из текучей среды. Эти отверстия могут иметь форму щелевых отверстий, которые выходят в реакционную камеру, через которую проходит основной поток. В другом воплощении оболочка реактора может содержать пористую стенку, которая способствует протеканию через неё холодной текучей среды с образованием из текучей среды защитного барьера. В одном

воплощении оболочка реактора может содержать сквозные проходы (не показаны), подобные описанным выше для системы активного охлаждения, и через них может быть пропущена холодная текучая среда для создания холодного защитного барьера из текучей среды. В этом воплощении для ввода холодной текучей среды через сквозные проходы или отверстия может быть использована разветвленная система трубопроводов. В другом воплощении оболочка реактора может содержать внутреннюю оболочку и внешнюю оболочку, как это было описано выше, при этом внутренняя оболочка может содержать отверстия или содержать пористую стенку по меньшей мере на части внутренней оболочки. В этом воплощении через канал или сквозные проходы, образованные между внешней оболочкой и внутренней оболочкой может быть пропущена холодная текучая среда, так что она протекает через пористую стенку внутренней оболочки с образованием холодного защитного барьера из текучей среды поверх внутренней поверхности части внутренней оболочки. Подобным образом, в том случае, если внутри оболочки реактора размещена футеровка, описанная выше, эта футеровка может быть пористой или проницаемой для того, чтобы обеспечить прохождение через футеровку холодной текучей среды и создать на её внутренней поверхности холодный защитный барьер из текучей среды. Защитная пленка может быть также образована вдоль внутренней поверхности части оболочки реактора с помощью других, известных в уровне техники способов.

В другом воплощении стенка может содержать множество небольших отверстий, через которые текучая среда проходит в защитный слой, образуя охлаждаемую поверхность, полностью покрытую тонким защитным слоем.

В другом воплощении стенка может быть выполнена со щелями или прорезями, в которые поступает охлаждающий агент с образованием охлаждающей пленки при протекании охлаждающего агента вдоль стенки в направлении вниз по ходу движения потока. Защитный барьер в виде пленки может быть также образован вдоль внутренней поверхности части оболочки реактора с помощью других способов, включающих известные в уровне техники.

В другом воплощении метод инжектирования может быть скомбинирован с методом охлаждения за счет полного покрытия пленкой, при этом инжектируемая текучая среда после воздействия на горячую стенку отводится через выполненные в стенке отверстия для пленочного охлаждения, и тем самым создается два эффекта охлаждения.

Таким образом, за счет создания защитного барьера в виде пленки поверх внутренней поверхности по меньшей мере части оболочки реактора может быть предотвращено повреждение оболочки реактора во время работы сверхзвукового реактора. Указанный защитный барьер в виде пленки может уменьшить температуру, воздействию которой подвергается оболочка реактора во время его работы, за счет создания такого защитного барьера для движущейся внутри реактора горячей текучей среды и конвективного охлаждения стенки с помощью пленки при температуре охлаждающей пленки.

Для достижения наибольшей эффективности функционирования реактора система охлаждения может включать различные описанные выше средства с обеспечением их оптимального сочетания.

Вышеприведенное описание раскрывает различные воплощения, касающиеся выполнения оболочки реактора или части оболочки реактора. При этом следует понимать, что по меньшей мере часть оболочки реактора может быть соотнесена со всей оболочкой реактора или менее, чем со всей оболочкой реактора, как это будет ниже описано более подробно. В связи с этим вышеприведенное описание путей усовершенствования конструкции и/или функционирования по меньшей мере части оболочки реактора можно применить, вообще, к любой части оболочки реактора и/или можно применить к подробно описанным ниже конкретным частям оболочки реактора.

Было установлено, что определенные участки или компоненты оболочки реактора могут находиться в особо жестких рабочих условиях, или для них могут возникать определенные проблемы, которые присущи данному участку или компоненту конструкции. Следовательно, в соответствии с различными воплощениями определенные аспекты приведенного выше описания могут быть применимы только к тем участкам или компонентам, для которых было выявлено существование определенной проблемы.

Участки вокруг топливного инжектора (инжекторов) и инжектора (инжекторов) исходного сырья являются примерами участков, на которые оказывает благоприятное воздействие использование локальных барьеров из защитной пленки или пленочного охлаждения, или инжектирования, или локально расположенных проходов (каналов) для конвективного охлаждения.

Одной зоной сверхзвукового реактора, в которой существуют особо жесткие рабочие условия, является зона горения. В зоне горения поток топлива сжигают в присутствии кислорода с образованием высокотемпературного потока теплоносителя. Температуры в зоне горения могут быть самыми высокими температурами, реализуемыми в реакционной камере, которые могут достигать величин в интервале от около 2000°C до около 3500°C в одном примере и от около 2000°C до около 3200°C в другом примере. В результате конкретная проблема, выявленная в зоне горения, заключается в плавлении оболочки реактора в зоне горения и окислении стенок камеры сгорания в среде кислорода. Часть оболочки реактора, находящаяся в зоне горения, может быть именована камерой сгорания.

Другой зоной сверхзвукового реактора, в которой существуют особо жесткие рабочие условия, является зона расширения сверхзвукового потока, и, в особенности, размещенное в этой зоне сверхзвуко-

вое сопло. В частности, из-за высоких температур газообразного носителя, движущегося через сопло расширительного устройства со скоростью близкой к сверхзвуковой или со сверхзвуковой, указанное сопло расширительного устройства и/или другие участки зоны расширения сверхзвукового потока могут быть, в особенности, подвержены эрозии.

Подобным образом, и другие участки сверхзвукового реактора, включающие зону диффузора, зону смешения, реакционную зону и зону быстрого охлаждения, могут находиться в жестких рабочих условиях при функционировании сверхзвукового реактора. Также могут быть подвержены действию тяжелых рабочих условий и необходимости решения подобных проблем дополнительное оборудование или компоненты, используемые во взаимосвязи и взаимодействии со сверхзвуковым реактором, включая, но не в качестве ограничения, форсунки, трубопроводные линии, смесители и теплообменники.

В связи с существованием специфически проблем и рабочих условий, которым могут быть подвержены отдельные участки или компоненты сверхзвукового реактора, эти отдельные участки или компоненты могут быть выполнены, могут работать или могут быть использованы в соответствии с рассмотренными здесь различными воплощениями, в то время как другие участки или компоненты могут быть выполнены, могут работать или могут быть использованы в соответствии с другими воплощениями, которые здесь могут или не могут быть описаны.

Поскольку различные компоненты и участки сверхзвукового реактора могут быть образованы или могут работать различным образом, сверхзвуковой реактор, включая оболочку реактора, может быть изготовлен из отдельных деталей, собранных вместе с образованием сверхзвукового реактора или оболочки реактора. При этом сверхзвуковой реактор и/или оболочка реактора могут представлять собой модульную конструкцию, в которой отдельные модули или компоненты могут быть собраны вместе. В одном воплощении, по меньшей мере, некоторые участки или компоненты сборной конструкции реактора или оболочки реактора могут быть не присоединены друг к другу, вместе с тем газы или текучие среды могут находиться в них за счет регулирования разности давления между компонентами реактора или оболочки. В других воплощениях модули и компоненты могут быть соединены друг с другом, например, с помощью фланцев, уплотненных в охлаждаемых местах контакта поверхностей компонентов. Подобным образом, различным компонентам, участкам или модулям могут быть присущи различные особенности, раскрытые в данном описании выше. Например, некоторые модули или компоненты могут быть обеспечены активным охлаждением, барьером в виде защитной пленки, внутренними и внешними слоями, внутренними и внешними оболочками или другими, раскрытыми выше особенностями выполнения, в то же время другие участки, модули или компоненты могут иметь различные другие особенности выполнения.

В соответствии с одним воплощением один или большее число компонентов или модулей могут быть удалены и заменены во время работы сверхзвукового реактора или во время перерыва в его работе. Например, поскольку сопло для расширения сверхзвукового потока может быть повреждено быстрее, чем другие компоненты реактора, указанное сопло может быть выполнено с возможностью удаления, и при повреждении оно может быть заменено новым соплом. В одном воплощении ряд сверхзвуковых реакторов может быть установлен параллельно или последовательно, при этом один или большее число сверхзвуковых реакторов работают, в то время как один или большее число сверхзвуковых реакторов находятся в состоянии готовности (дежурный режим). Поэтому в случае необходимости осуществления технического обслуживания и замены одного или большего числа компонентов работающего сверхзвукового реактора проведение технологического процесса может быть переключено на другой сверхзвуковой реактор, находящийся в состоянии готовности, и процесс может быть продолжен.

Кроме того, сверхзвуковые реакторы могут быть ориентированы горизонтально или вертикально (не показано). В том случае, если реактор ориентирован вертикально, поток теплоносителя и проходящие через реактор сырьевые потоки могут быть направлены в одном воплощении вертикально вверх. В другом воплощении поток теплоносителя и сырьевые потоки могут быть направлены вертикально вниз. В одном воплощении сверхзвуковой реактор может быть ориентирован так, что обеспечивается свободное стекание жидкости, чтобы предотвратить её накапливание в зоне быстрого охлаждения. В другом воплощении реактор может быть ориентирован вертикально ( $90^\circ$  относительно горизонтали) или горизонтально ( $0^\circ$  относительно горизонтали), как указано выше, или может быть ориентирован под углом в интервале от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , при этом входное отверстие реактора находится на уровне выше выходного отверстия реактора. В другом воплощении выходное отверстие может включать в себя два или большее число выходных отверстий, включая основное выходное отверстие для потока основной паровой фазы и вспомогательное выпускное отверстие для слива жидкости. В одном воплощении в зону быстрого охлаждения инжектируют жидкость, и она полностью не испаряется. Это может происходить во время переходного или стационарного установившегося режима работы. Вспомогательное выпускное отверстие может функционировать непрерывно или периодически, при необходимости.

В одном воплощении оболочка реактора герметизирована на одном конце и содержит камеру на противоположном конце.

В одном воплощении оболочка реактора может быть снабжена устройством для сброса давления. В

одном воплощении устройство для сброса давления представляет собой разрушающуюся мембрану. В другом воплощении устройство для сброса давления представляет собой клапан сброса давления.

В одном воплощении сверхзвуковой реактор может содержать запорный клапан, установленный на его входе. Сверхзвуковой реактор может также содержать систему контроля для выявления изменения давления в случае внезапного разрыва оболочки и выброса газа. Система контроля может быть выполнена с возможностью изолирования в этом случае входа. В одном воплощении таким входом является вход для потока топлива.

В соответствии с одним воплощением сверхзвуковой реактор снабжен средствами магнитного удержания для удерживания реагентов в реакционной камере.

Согласно другому воплощению сверхзвуковой реактор может генерировать водород из потока, выходящего из реактора.

В одном примере выходящий из реактора поток после пиролиза в сверхзвуковом реакторе имеет по сравнению с сырьевым метановым потоком пониженное содержание метана, находящееся в интервале 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 сырьевом потоке, составляет от приблизительно 40% до приблизительно 95%. В другом примере выход ацетилена, полученного в сверхзвуковом реакторе из метана, содержащегося в сырьевом потоке, составляет от приблизительно 50% до приблизительно 90%. Таким образом, обеспечивается более высокий выход ацетилена, чем расчетный выход 40%, достигаемый в предшествующих, более традиционных воплощениях пиролиза.

Согласно одному воплощению выходящий из реактора поток подвергают химическому реагированию для получения другого углеводородного соединения. Для этого часть выходящего из реактора потока углеводородов может быть направлена с выхода реактора на дальнейшую обработку путем проведения процесса конверсии углеводородов ниже по ходу движения потока. В то же время необходимо понимать, что выходящий из реактора поток может быть подвергнут различным промежуточным стадиям обработки, таким, например, как удаление воды, адсорбция и/или абсорбция для получения потока концентрированного ацетилена, однако эти промежуточные стадии не будут здесь рассмотрены более подробно.

Выходящий из реактора поток, имеющий более высокую концентрацию ацетилена, может быть направлен в находящуюся ниже по потоку зону конверсии углеводородов, в которой ацетилен может быть превращен в другой углеводородный продукт. Находящаяся ниже по потоку зона конверсии углеводородов может содержать реактор для конверсии углеводородов, в котором осуществляется конверсия ацетилена в другой углеводородный продукт. Следует понимать, что в указанной зоне конверсии углеводородов могут быть проведены различные другие процессы конверсии углеводородов, вместо или в дополнение к использованию реактора гидрогенизации, или комбинация процессов конверсии углеводородов. Подобным образом, типовые операции, 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 сверхзвукового реактора, 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, бутин-диол, бутандиол, углеводородные соединения C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>, этиленгликоль, дизельное топливо, диациды, диолы, пирролидины и пирролидоны.

Зона удаления примесей, предназначенная для удаления одной или большего числа примесей из потока углеводородов или технологического потока, может быть размещена на различных участках вдоль движения потока углеводородов или технологического потока, в зависимости от воздействия конкретной примеси на продукт или технологический процесс и от причины необходимости удаления примеси, что более подробно описано ниже. Например, определенные примеси, как было установлено, ухудшают работу реактора со сверхзвуковым потоком и/или приводят к образованию отложений в реакторе 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 процессов 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. Были установлены ещё одни примеси, подлежащие удалению для удовлетворения технических требований (стандартов), которым должен соответствовать конкретный продукт. Там, где желательное удаление многочисленных примесей из потока углеводородов или обработанного потока, различные зоны удаления примесей могут быть расположены в различных местах по ходу движения потока

углеводородов или технологического потока. 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, сверхзвуковой реактор или зону конверсии углеводородов ниже по ходу движения потока. Это может быть осуществлено с проведением или без проведения модификации этих конкретных зон, реакторов или процессов. Следует понимать, что зона удаления примесей в соответствии с настоящим изобретением может быть расположена выше по потоку от реактора со сверхзвуковым потоком, между реактором со сверхзвуковым потоком и зоной конверсии углеводородов, или ниже по потоку от зоны конверсии углеводородов, или вдоль пути движения других потоков, включающих, например, поток текучей среды-носителя, поток топлива, поток источника кислорода или любые потоки, используемые в описанных здесь системах и процессах.

Хотя выше были иллюстрированы и описаны конкретные воплощения и аспекты изобретения, следует принимать во внимание, что многочисленные изменения и модификации будут очевидны для специалистов в данной области техники, и предполагается, что приложенные пункты формулы охватывают все эти изменения и модификации, осуществляемые в пределах объема и сущности настоящего изобретения.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для производства ацетилена из потока метанового сырья, содержащее сверхзвуковой реактор для приема потока метанового сырья и нагревания потока метанового сырья до температуры пиролиза;
  - оболочку сверхзвукового реактора, образующую реакционную камеру;
  - зону горения сверхзвукового реактора для сжигания источника топлива с получением высокотемпературного газа-носителя, проходящего через пространство реактора со сверхзвуковой скоростью для нагревания и ускорения потока метанового сырья до температуры пиролиза;
  - при этом оболочка содержит
    - внешний слой для обеспечения основы структуры оболочки и
    - внутренний слой, имеющий коэффициент теплопроводности в интервале от около 200 до около 500 Вт/м·град К для отвода теплоты из реакционной камеры, при этом внутренний слой содержит, по меньшей мере, 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 и их смеси.
2. Устройство по п.1, в котором внутренний слой снабжен покрытием.
3. Устройство по п.1, в котором оболочка реактора представляет собой структуру, содержащую внутренний и внешний слои.
4. Устройство по п.1, в котором внутренний слой содержит покрытие по внутреннему диаметру, полученное на оправке.
5. Устройство по п.1, в котором внутренний слой содержит покрытие, образованное путем горячего изостатического прессования.
6. Устройство по п.1, в котором внутренний слой содержит покрытие, образованное путем плакирования футеровки.
7. Устройство по п.1, в котором внутренний слой и внешний слой представляют собой отдельные отливки и указанные отливки соединены друг с другом посредством сварки/пайки твердым припоем.
8. Устройство по п.1, дополнительно содержащее один или большее число промежуточных слоев между внешним слоем и внутренним слоем.
9. Устройство по п.1, дополнительно содержащее один или большее число слоев, расположенных снаружи внешнего слоя.
10. Устройство по п.1, дополнительно содержащее один или большее число слоев, расположенных с внутренней стороны внутреннего слоя.

