

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036424**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.11.10**

(51) Int. Cl. **C01B 3/38** (2006.01)  
**C10G 45/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201991229**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.11.17**

---

(54) **СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЕВОГО ПОТОКА ДЛЯ  
УСТАНОВКИ ПАРОВОГО РИФОРМИНГА**

---

(31) **16400056.4**

(56) US-A-3477832  
US-B2-8080070  
WO-A2-2011016970  
US-B1-7037485  
US-A1-2008237090

(32) **2016.12.05**

(33) **EP**

(43) **2019.10.31**

(86) **PCT/EP2017/025336**

(87) **WO 2018/103888 2018.06.14**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**Л'ЭР ЛИКИД, СОСЬЕТЕ  
АНОНИМ ПУР Л'ЭТЮД Э  
Л'ЭКСПЛУАТАСЬОН ДЕ ПРОСЕДЕ  
ЖОРЖ КЛОД (FR)**

(72) Изобретатель:  
**Чень Юэ (CN), Шривастава  
Сватантра Кумар, Самаддар  
Мритиунджой (DE)**

(74) Представитель:  
**Веселицкий М.Б., Веселицкая И.А.,  
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов  
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,  
Кузнецова Т.В., Соколов Р.А. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к способу и аппаратам для получения содержащего олефины сырьевого потока для установки парового риформинга. Согласно данному изобретению содержащий олефины углеводородный исходный материал для этой цели испаряют и подвергают каталитической гидрогенизации. Полученный продуктовый поток гидрогенизации олефинов разделяют на газообразный сырьевой поток риформинга, направляемый на установку парового риформинга, и газообразный возвратный поток. В результате охлаждения согласно данному изобретению газообразного возвратного потока до, по меньшей мере, его частичной конденсации и отдельной рециркуляции частичного газообразного возвратного потока и частичного жидкого возвратного потока можно избежать закупки большого и сложного по своей конструкции циркуляционного компрессора и экономить энергию, потребляемую при эксплуатации этого компрессора.

---

**036424**  
**B1**

**036424**  
**B1**

### Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу получения сырьевого потока для установки парового риформинга, в котором используется углеводородный питающий поток, содержащий олефины. Изобретение дополнительно относится к устройству для осуществления такого способа.

### Уровень техники

Углеводороды можно подвергать каталитической конверсии паром в синтез-газ, т.е. в смесь водорода ( $H_2$ ) и монооксида углерода (CO). Как указывается в Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition, 1998 Electronic Release, ключевое слово "производство газа", этот паровой риформинг является наиболее широко используемым способом получения синтез газа, который затем можно конвертировать в последующие важные базовые химические реагенты, такие как метанол или аммиак.

Паровой риформинг природного газа проходит с сильным эндотермическим эффектом. Поэтому его проводят в печи риформинга, в которой параллельно друг другу размещены многочисленные трубки для риформинга, содержащие катализатор, в которых происходит реакция парового риформинга. Трубки для риформинга обычно обогреваются с помощью горелок, которые установлены на верхней стороне или на нижней стороне, или на боковых стенках внутри печи риформинга и непосредственно обогревают промежуточное пространство между трубками для риформинга.

После предварительного подогрева с помощью теплообменников или огневых подогревателей, смесь углеводород/пар после окончательного нагрева поступает в трубки для риформинга, где на катализаторе риформинга она вступает в реакцию с образованием монооксида углерода и водорода. Состав продуктового газа определяется равновесием реакции; по этой причине продуктовый газ содержит не только монооксид углерода и водород, но и диоксид углерода, непрореагировавший метан и водяной пар.

С целью оптимизации использования энергии и/или в случае исходных материалов, содержащих высшие углеводороды, для обеспечения предварительного крекинга исходных материалов можно использовать установку предварительного риформинга ниже по технологическому потоку от предварительного подогревателя. Затем исходный материал, прошедший предварительный крекинг, нагревают в следующем подогревателе до температуры, требуемой на входе в основную установку риформинга, например, установку парового риформинга. Традиционный предварительный риформинг можно определить как процесс парового риформинга при ограниченных температурах (значительно ниже  $700^\circ C$ ). Это приводит к образованию газообразного промежуточного продукта, основными составляющими которого являются метан и пар. В промежуточном продукте не содержится или содержится незначительная часть высших углеводородов. Этот промежуточный продукт обычно обрабатывают дополнительно в установке парового риформинга.

Как указано в Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry, там же, для парового риформинга обычно используют катализаторы на основе никеля. Эти катализаторы чувствительны к каталитическим ядам, таким как сера, мышьяк, медь, ванадий, свинец и хлор или галогены в целом. Сера особенно сильно снижает активность катализатора, и ее можно найти в практически всех исходных материалах, которые рассматриваются в качестве сырья для парового риформинга. По этой причине эти составляющие необходимо удалить из сырьевого потока подходящими мерами перед подачей питающего потока в установку парового риформинга. Сегодня предпочтение отдается системам обессеривания, в которых соединения серы удаляют оксидом цинка в качестве сорбента при температурах от  $350$  до  $400^\circ C$ . Эти системы обессеривания на основе оксида цинка очень надежны для абсорбции сероводорода и, с ограничениями, таких соединений серы, как карбонилсульфид и меркаптаны. Последние часто гидрируют водородом на подходящих катализаторах с образованием сероводорода (гидродесульфуризация, ГДС).

Хотя использование метансодержащего природного газа в качестве исходного материала или сырья преобладает при паровом риформинге, также используют и другие углеводороды, такие как нефтяной газ или газы нефтепереработки, в зависимости от их наличия в месте производства. Так, в описании в патенте США US 3477832 раскрыт способ получения синтез газа каталитическим паровым риформингом нефти и сходных с ней углеводородов. В контексте настоящей заявки на изобретение термин нефтяной газ относится к углеводородам, имеющим среднее число атомов углерода равное семи, которые включают линейные и разветвленные углеводороды, определенную часть ароматических и олефиновых углеводородов и различные примеси, например серосодержащую составляющую. Чтобы превратить эту смесь, представляющую собой жидкость при нормальных условиях, в сырьевой поток для парового риформинга, ее испаряют и нагревают; в данном случае лучше, если температурный интервал составляет от  $260$  до  $316^\circ C$ , но ни в коем случае не превышает  $343^\circ C$ , поскольку при этом происходит разложение сырьевых составляющих с образованием нежелательных углеродных отложений в установке парового риформинга и в узлах установки выше от него по технологическому потоку. Нагретую и испаренную смесь затем гидрогенизируют на стационарном слое катализатора гидрирования, основанном на Co-Mo, при этом гидрогенизация необязательно происходит в несколько стадий. Испаренную и гидрогенизированную нефть затем подают в реактор парового риформинга.

Проблемы связаны с сильно экзотермической природой реакции гидрогенизации, что может приводить к образованию высокотемпературных зон в слое катализатора, которые известны как "местный пе-

регрев". Последний может приводить к нежелательным реакциям крекинга ненасыщенных составляющих в исходном материале и/или преждевременной деактивации катализатора. С целью надежного контроля температурного режима в реакторе гидрогенизации часть продукта реактора гидрогенизации зачастую возвращают назад на вход в реактор, чтобы разбавить ненасыщенные соединения, содержащиеся в исходном материале. Недостатком в данном случае является то, что большие количества газообразного продукта реактора гидрогенизации зачастую необходимо компримировать и возвращать на вход в реактор гидрогенизации, чтобы получить требуемый эффект разбавления, что достигается с помощью соответственно больших и вследствие этого дорогих компрессоров.

#### **Раскрытие изобретения**

Соответственно, задачей настоящего изобретения является предложить способ и устройство (аппараты) для получения сырьевого потока для установки парового риформинга из содержащего олефины исходного материала, которые не имеют вышеуказанных недостатков существующего уровня техники. В частности, способ и устройство должны обеспечить надежное испарение жидкого углеводородного исходного материала и последующую гидрогенизацию находящихся в нем ненасыщенных соединений, позволяя при этом избежать перегрева, приводящего к реакциям крекинга присутствующих олефинов.

Данной цели достигают с помощью способа, характеризующегося признаками пункта 1 формулы изобретения, и с помощью устройства, имеющего признаки пункта 9 формулы изобретения. Последующие варианты осуществления изобретения приведены в соответствующих зависимых пунктах формулы.

#### **Способ по изобретению**

Предлагается способ получения сырьевого потока для установки парового риформинга, содержащей по меньшей мере одну ступень риформинга, включающий следующие стадии:

- (a) формирование первого жидкого питающего потока, содержащего олефины, и второго питающего потока, содержащего водород,
- (b) объединение первого питающего потока и второго питающего потока с формированием питающего потока гидрогенизации,
- (c) нагрев питающего потока гидрогенизации в нагревательном аппарате и испарение питающего потока гидрогенизации в испарительном аппарате,
- (d) введение нагретого и испаренного питающего потока гидрогенизации в реактор гидрогенизации, содержащий по меньшей мере одну зону гидрогенизации, для осуществления, по меньшей мере частичной, конверсии олефинов, содержащихся в питающем потоке гидрогенизации, в реакторе гидрогенизации в условиях гидрогенизации олефинов, отведение газообразного продуктового потока гидрогенизации олефинов из реактора гидрогенизации,
- (e) разделение продуктового потока гидрогенизации олефинов в сепараторе на газообразный сырьевой поток риформинга, направляемый на установку парового риформинга, и газообразный возвратный поток,
- (f) охлаждение газообразного возвратного потока, с обеспечением частичной его конденсации, и затем введение его в аппарат для разделения фаз, в котором его разделяют на газообразную часть возвратного потока и жидкую часть возвратного потока,
- (g) отведение газообразной части возвратного потока и жидкой части возвратного потока из аппарата для разделения фаз, при этом газообразную часть возвратного потока объединяют с упомянутым вторым питающим потоком, а жидкую часть возвратного потока объединяют с упомянутым первым питающим потоком и/или возвращают на стадию (b) способа.

Устройство по изобретению.

Устройство для производства сырьевого потока для установки парового риформинга, включающей по меньшей мере одну ступень риформинга, содержащее следующие компоненты, сообщаемые друг с другом по потоку (текучей среде):

- (a) средства для формирования первого жидкого питающего потока, содержащего олефины, и второго питающего потока, содержащего водород,
- (b) средства для объединения первого питающего потока и второго питающего потока с формированием питающего потока гидрогенизации,
- (c) нагревательный аппарат для нагрева питающего потока гидрогенизации и испарительный аппарат для испарения питающего потока гидрогенизации,
- (d) реактор гидрогенизации, содержащий по меньшей мере одну зону гидрогенизации, и средства для введения нагретого и испаренного питающего потока гидрогенизации в реактор гидрогенизации, и средства для отведения газообразного продуктового потока гидрогенизации олефинов из реактора гидрогенизации,
- (e) сепаратор для разделения продуктового потока гидрогенизации олефинов на газообразный сырьевой поток риформинга и газообразный возвратный поток, и средства для введения газообразного сырьевого потока риформинга в установку парового риформинга,
- (f) средства для охлаждения и, по меньшей мере, частичной конденсации газообразного возвратного потока, средства для введения по меньшей мере конденсированного газообразного возвратного потока в аппарат для разделения фаз для разделения, по меньшей мере, частично конденсированного газообраз-

ного возвратного потока на газообразную часть возвратного потока и жидкую часть возвратного потока, (g) средства для отведения газообразной части возвратного потока и жидкой части возвратного потока из аппарата для разделения фаз, средства для объединения газообразной части возвратного потока с упомянутым вторым питающим потоком, средства для объединения жидкой части возвратного потока с упомянутым первым питающим потоком, и/или средства для объединения жидкой части возвратного потока с упомянутым питающим потоком гидрогенизации.

В целях данного изобретения сообщение по потоку/текучей среде между двумя отделениями аппаратов данного изобретения означает любой тип связи, который позволяет текучей среде, например, газовому потоку, течь от одного из двух отделений к другому вне зависимости от отделений или компонентов, встроенных между ними.

Для целей данного изобретения под высшими углеводородами подразумевают все углеводороды, имеющие более чем один атом углерода в молекуле.

Условия реакции, необходимые для реакции олефинов в реакторе гидрогенизации, т.е. условия гидрогенизации олефинов, известны специалисту в данной области из предшествующего уровня техники, например, из документов, упомянутых в начале. Необходимые изменения в этих условиях в соответствии с эксплуатационными требованиями будут произведены таким специалистом на основании обычных испытаний.

Изобретение основано на признании того, что возврат части продукта реактора гидрогенизации в негазообразном виде к входу в реактор гидрогенизации с целью получения требуемого эффекта разбавления несет в себе определенные преимущества. Вместо этого предлагается часть продуктового потока гидрогенизации олефинов, отделенную от газообразного сырьевого потока риформинга в сепараторе, охлаждать и, по крайней мере, частично конденсировать. Полученную там жидкую часть возвратного потока можно перемещать с помощью простых жидкостных насосов и, например, объединять с первым жидким питающим потоком. Полученную там газообразную часть возвратного потока благодаря его малому размеру можно перемещать и компримировать с помощью отдельного компрессора малого размера, или в альтернативном случае можно использовать другой компрессор, который все равно необходим для компримирования второго содержащего водород питающего потока, для перемещения и компримирования газообразной части возвратного потока. Таким путем получают экономию за счет большого и затратного компрессора для возвратной части продукта реактора гидрогенизации.

Другое преимущество заключается в том, что теплоту конденсации, выделяемую при, по меньшей мере, частичной конденсации отделенной части продуктового потока гидрогенизации олефинов, можно передавать путем косвенного теплообмена, например, первому жидкому питающему потоку, тем самым она используется при нагреве последнего перед его испарением. Это повышает энергоэффективность способа.

Предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения.

В предпочтительном варианте осуществления способа данного изобретения газообразную часть возвратного потока объединяют со вторым питающим потоком и компримируют вместе с последним, или газообразную часть возвратного потока объединяют с уже компримированным вторым питающим потоком. Таким образом, можно достичь рециркуляции газообразной части возвратного потока без необходимости использовать для этой цели отдельный компрессор. Для этой цели зачастую также можно использовать уже существующий компрессор для водорода.

Следующий предпочтительный вариант осуществления способа данного изобретения отличается тем, что нагревательный аппарат в стадии способа (c) выполнен в виде теплообменника, в котором питающий поток гидрогенизации нагревают путем косвенного теплообмена с горячим неочищенным продуктовым потоком синтез-газа из установки парового риформинга, горячим потоком топочных газов из печи риформинга, горячим продуктовым газовым потоком, поступающим из установки конверсии CO ниже по технологическому потоку от установки парового риформинга (сдвиг CO), или с несколькими из этих горячих газовых потоков. В результате этой меры теплосодержание упомянутых технологических потоков используется для нагрева первого питающего потока, и энергоэффективность способа в целом улучшается.

В следующем аспекте способа данного изобретения происходит, по меньшей мере, частичная конверсия органических серосодержащих соединений, находящихся в первом питающем потоке, в условиях гидродесульфуризации (ГДС), с получением десульфурованных углеводородов и сероводорода, при этом образующийся сероводород отделяют от сырьевого потока риформинга перед тем, как последний поступает в установку парового риформинга. Условия гидрогенизации ненасыщенных соединений и гидродесульфуризации настолько схожи, что две стадии процесса можно выполнять в одном реакторе, если необходима гидродесульфуризация органического питающего потока.

В следующем варианте осуществления способа данного изобретения охлаждение на стадии способа (f) осуществляют в нескольких ступенях, причем по меньшей мере одна охлаждающая ступень выполнена в виде теплообменника, в котором охлаждение газообразного возвратного потока происходит путем косвенного теплообмена с первым питающим потоком, вводимым в процесс, или питающим потоком гидрогенизации. Помимо охлаждения газообразного возвратного потока таким образом осуществляется

предварительный нагрев первого питающего потока или питающего потока гидрогенизации. Этим улучшается управление температурным режимом способа.

В вышеупомянутом варианте осуществления способа данного изобретения особое предпочтение отдается наличию по меньшей мере одной дополнительной ступени охлаждения, на которой охлаждение газообразного возвратного потока происходит путем косвенного теплообмена с охлаждающей средой, в частности охлаждающей водой. Этим путем можно получить дополнительные возможности для охлаждающего эффекта, который необходимо достичь.

Особенно предпочтительно газообразный возвратный поток охлаждать на стадии способа (f) до такой степени, чтобы конденсировалась по меньшей мере его половина, чтобы по меньшей мере 50 мол.% возвратного потока, предпочтительно по меньшей мере 70 мол.% возвратного потока было в жидкой форме. Таким образом, получают газообразную часть возвратного потока, которая так мал, что его можно направлять в компрессор, обслуживающий второй питающий поток, без необходимости укрупнять этот компрессор.

В определенном варианте осуществления способа данного изобретения установка парового риформинга дополнительно включает ступень предварительного риформинга (установку предварительного риформинга), в которой происходит, по меньшей мере, частичная конверсия высших углеводородов в метан в условиях предварительного риформинга. Этот вариант осуществления имеет преимущества, поскольку олефины, находящиеся в сырьевом потоке, гидрируются до соответствующих алканов, которые затем могут целенаправленно вступать в предварительное взаимодействие с получением метана на ступени предварительного риформинга до поступления смешанного сырьевого потока на основную ступень риформинга.

В определенном варианте осуществления устройства/аппаратов данного изобретения, дополнительно включен компрессор, пригодный для компримирования второго питающего потока или второго питающего потока, объединенного с газообразной частью возвратного потока. Для этой цели зачастую также можно использовать уже существующий компрессор для водорода.

Следующий предпочтительный вариант осуществления устройства данного изобретения отличается тем, что нагревательный аппарат в аппарате-компоненте (с) выполнен в виде теплообменника, пригодного для нагрева питающего потока гидрогенизации путем косвенного теплообмена с горячим неочищенным продуктовым потоком синтез-газа из установки парового риформинга, горячим потоком топочных газов из печи риформинга, горячим продуктовым газовым потоком, поступающим из установки конверсии CO, размещающейся ниже по технологическому потоку от установки парового риформинга (сдвиг CO), или с несколькими из этих горячих газовых потоков. В результате выполнения этой меры теплосодержание упомянутых технологических потоков используется для нагрева первого питающего потока, и энергоэффективность способа в целом улучшается.

В следующем аспекте реактор гидрогенизации устройства данного изобретения также пригоден для, по меньшей мере, частичной конверсии органических серосодержащих соединений, находящихся в первом питающем потоке, в условиях гидродесульфуризации (ГДС), при этом получают десульфурированные углеводороды и сероводород, при этом также присутствуют средства отделения образующегося сероводорода от сырьевого потока риформинга перед тем, как последний поступает в установку парового риформинга. Условия гидрогенизации ненасыщенных соединений и гидродесульфуризации настолько схожи, что две стадии процесса можно выполнять в одном реакторе, если гидродесульфуризация органического исходного материала необходима.

В следующем варианте осуществления устройства данного изобретения конструктивное решение охлаждающего аппарата в аппарате-компоненте (f) включает несколько ступеней, причем по меньшей мере одна охлаждающая ступень выполнена в виде теплообменника, который пригоден для охлаждения газообразного возвратного потока путем косвенного теплообмена с первым питающим потоком, вводимым в процесс, или питающим потоком гидрогенизации. Помимо охлаждения газообразного возвратного потока таким образом осуществляется предварительный нагрев первого питающего потока или питающего потока гидрогенизации. Этим улучшается управление температурным режимом способа.

В вышеупомянутом варианте осуществления устройства данного изобретения особое предпочтение отдается наличию дополнительной ступени охлаждения, которая пригодна для охлаждения газообразного возвратного потока путем косвенного теплообмена с охлаждающей средой, в частности охлаждающей водой. Этим путем можно получить дополнительные возможности для охлаждающего эффекта, который необходимо достичь.

В определенном варианте осуществления устройства данного изобретения установка парового риформинга дополнительно включает ступень предварительного риформинга (установку предварительного риформинга), которая пригодна для, по меньшей мере, частичной конверсии высших углеводородов в метан в условиях предварительного риформинга. Этот вариант осуществления имеет преимущества, поскольку олефины, находящиеся в сырьевом потоке, гидрируются до соответствующих алканов, которые затем могут целенаправленно вступать в предварительное взаимодействие на ступени предварительного риформинга с получением метана до поступления смешанного сырьевого потока на основную ступень риформинга.

### Демонстрационные примеры и численные примеры

Дополнительные признаки, преимущества и возможные применения данного изобретения также можно развить на основании следующего описания демонстрационных примеров и численных примеров и графических материалов. В данном документе все описываемые и/или изображенные признаки, либо сами по себе, либо в любой комбинации, образуют объект изобретения независимо от того, как они сведены в формуле изобретения или обратных ссылках на них.

На фигурах показаны:

фиг. 1 - процесс получения сырьевого потока для установки парового риформинга согласно предшествующему уровню техники;

фиг. 2 - схематическое изображение способа данного изобретения, соответствующего предпочтительному варианту осуществления.

На фиг. 1 показано схематическое изображение процесса согласно предшествующему уровню техники в виде технологической блок-схемы производства сырьевого потока для установки парового риформинга из содержащего олефины углеводородного питающего потока.

Первый питающий поток - содержащая олефины жидкая углеводородная смесь - поступает по линии 10 и через насос 12 и направляется по линии 14 в теплообменник 30. Второй питающий поток - содержащий водород поток газа - поступает по линии 20 и через насос 22 и направляется по линии 24, а также и 14, в теплообменник 30. Объединение первого и второго питающих потоков дает, таким образом, питающий поток гидрогенизации, который нагревают и испаряют в теплообменнике 30 и подают по линии 32 в реактор 40 гидрогенизации. В качестве альтернативного случая, второй содержащий водород питающий поток также можно подсоединять после испарения первого питающего потока с целью формирования питающего потока гидрогенизации; в этом случае необязательно добавляют дополнительный нагревательный аппарат, чтобы устанавливать желаемую температуру на входе в реактор гидрогенизации. Как показано на фиг. 1, сформированный питающий поток гидрогенизации нагревают в теплообменнике 30 путем косвенного теплообмена с горячим продуктовым газовым потоком, поступающим из установки конверсии СО ниже по технологическому потоку от установки парового риформинга (сдвиг СО), указанный продуктовый газовый поток подают по линии 34 в теплообменник 30.

С целью ограничения повышения температуры питающего потока гидрогенизации в теплообменнике 30, последний оборудован перепуском, линия 36, и регулирующим клапаном 37, установленным в линии 36. Охлажденный продуктовый газовый поток из установки конверсии СО отводят из процесса по линии 35.

В реакторе 40 гидрогенизации олефины, находящиеся в питающем потоке гидрогенизации, и любые количества все еще присутствующих диеновых углеводородов, гидрируют с получением продуктового потока гидрогенизации олефинов, содержащего парафины. Кроме того, органические компоненты, содержащие серу, также можно гидрогенизировать с получением соответствующих углеводородов и сероводорода. В последнем случае образующийся сероводород необходимо удалять подходящими мерами, например, путем использования адсорбентов на основе оксида цинка, перед подачей продуктового потока гидрогенизации олефинов в установку парового риформинга. В продажу поступают катализаторы, необходимые для совместной гидрогенизации моноолефинов и диеновых углеводородов, а также органических серосодержащих компонентов, например, катализаторы на основе Со-Мо или Ni-Мо. В альтернативном случае гидрогенизацию диеновых углеводородов и органических серосодержащих компонентов можно проводить отдельно в реакторах гидрогенизации для того, чтобы установить оптимальные для каждого исходного материала условия гидрогенизации. Особенно часто предпочтение отдается гидрогенизации диеновых углеводородов в отдельном реакторе гидрогенизации при более низких температурах с целью предотвращения полимеризации и отложения образующегося полимера в реакторе гидрогенизации олефинов. Условия гидрогенизации, выбираемые для всех этих вариантов гидрогенизации, известны специалисту в данной области. Описанные выше модификации, включающие отдельный реактор гидрогенизации для диеновых углеводородов и органических серосодержащих компонентов, не показаны на фигурах; однако они известны как таковые специалистам в данной области.

По линии 42 полученный продуктовый поток гидрогенизации олефинов отводят из реактора 40 гидрогенизации и подают в сепаратор 50. Это можно выполнять простым образом с помощью регулируемых клапанов, установленных на линиях 52 и 54. Газообразный сырьевой поток риформинга отводят из сепаратора по линии 52 и подают в установку парового риформинга. Кроме того, газообразный возвратный поток отводят по линии 54 из сепаратора и подают в охлаждающий аппарат 56. Охлаждающий аппарат 56 можно, например, выполнить в виде теплообменника, в котором охлаждение газообразного возвратного потока проводят подходящей охлаждающей средой, например, охлаждающей водой. Задачей охлаждающего аппарата является отведение тепла, высвобождаемого при экзотермической гидрогенизации, от газового возвратного потока и охлаждение его до такой степени, чтобы его можно было ввести в питающий поток гидрогенизации, тем самым, позволяя избежать перегрева реактора 40 гидрогенизации. Однако этот возвратный поток остается в газообразном состоянии.

Охлажденный газообразный возвратный поток направляют по линии 58 в циркуляционный компрессор 60 и компримируют в нем. Компримированный газообразный возвратный поток по линии 62 и

линии 14 поступает назад в теплообменник 30, после которого его объединяют с первым питающим потоком и вторым питающим потоком, и таким образом он становится составной частью питающего потока гидрогенизации.

На схематическом изображении способа данного изобретения и аппаратов данного изобретения, показанных на фиг. 2, ход процесса до ссылочной позиции 54 соответствует, в предпочтительном варианте осуществления, последовательности процесса, изложенной в соответствии с фиг. 1, причем ссылочные позиции имеют ту же нумерацию и то же значение, что и на фиг. 1.

В дополнение к последовательности процесса, приведенной на фиг. 1, питающий поток гидрогенизации, образованный путем объединения первого питающего потока и второго питающего потока, поступает по линии 14 в теплообменник 70 и предварительно нагревается там посредством косвенного теплообмена с газообразным возвратным потоком, который отводят по линии 54 из сепаратора по линии 50 и направляют в теплообменник 70. Предварительно нагретый питающий поток гидрогенизации затем направляют по линии 16 в теплообменник 30 и нагревают и испаряют в нем.

Охлажденный газообразный возвратный поток, отводимый из теплообменника 70, направляют по линии 72 в охлаждающий аппарат 80. Охлаждающий аппарат 80 можно, например, выполнить в виде теплообменника, в котором охлаждение газообразного возвратного потока проводят подходящей охлаждающей средой, например, охлаждающей водой. Задачей теплообменника 70 и охлаждающего аппарата 80 является отбирать тепло, высвобождающееся при экзотермической гидрогенизации, у газообразного возвратного потока и охлаждать последний до такой степени, чтобы происходила хотя бы частичная конденсация. Частично конденсированный поток отводят по линии 82 из охлаждающего аппарата 80, вводят в аппарат для разделения фаз 90 и разделяют в последнем на газообразную часть возвратного потока и жидкую часть возвратного потока. Газообразную часть возвратного потока, который также содержит часть водорода, которая не прореагировала при гидрогенизации, отводят из аппарата для разделения фаз по линии 92 и объединяют со вторым питающим потоком, текущим по линии 20.

Жидкую часть возвратного потока, отводимую из аппарата для разделения фаз по линии 94, объединяют через насос 96 и линию 98 с питающим потоком гидрогенизации, который поступает по линии 14. В качестве альтернативы, жидкую часть возвратного потока можно также объединять с первым питающим потоком, текущим по линии 10, и таким образом экономятся затраты на насос 96.

Преимуществом конфигурации изобретения, представленной на фиг. 2, является то, что по сравнению с последовательностью процесса, известной из предшествующего уровня техники и проиллюстрированного на фиг. 1, экономятся затраты на циркуляционный компрессор 60. Такая экономия затрат значительна, поскольку вследствие больших количеств газа или паров, которые необходимо направить на рециркуляцию, и вследствие уровней температуры газов и паров, которые необходимо компримировать, компрессор представляет собой аппарат со сложной, возможно многоступенчатой, конструкцией и большим размером.

Численные примеры.

В следующих численных примерах проиллюстрирован принцип действия изобретения с использованием результатов численного моделирования. Исследовали случай производства сырья для установки парового риформинга с производственной мощностью 130000 нормальных м<sup>3</sup>/ч, где используется сжиженный нефтяной газ (СНГ) с содержанием олефинов 50 мол.% в качестве исходного углеводородного материала.

Сравнительный пример. При производстве сырьевого потока для установки парового риформинга согласно предшествующему уровню техники (фиг. 1), потребляемая мощность используемого циркуляционного компрессора 60 составляет 165 кВт. Потребляемая мощность охлаждения, которая должна быть приложена к охлаждающему устройству 56, чтобы довести температуру на входе возвратного газового потока до приемлемого уровня, составляет 4,2 ГДж/ч. Потребление охлаждающей воды для охлаждения циркуляционного компрессора 60 составляет 60 м<sup>3</sup>/ч.

Изобретение. При производстве сырьевого потока для установки парового риформинга согласно изобретению (фиг. 2), циркуляционный компрессор 60 не используется, что позволяет сэкономить капитальные затраты. С другой стороны, требуется насос 96, но это значительно менее затратно, поскольку он имеет малый размер и более простое устройство, а в альтернативном случае может не использоваться совсем, ср. комментарий к фиг. 2. Существующий компрессор 22 также используется для газообразной части возвратного потока, поэтому в данном случае не возникает дополнительных капитальных затрат. Потребление электрической энергии в этой конфигурации составляет 20 кВт, таким образом экономится 145 кВт электроэнергии по сравнению со сравнительным примером. С другой стороны, подводимая охлаждающая энергия, которую необходимо подводить к охлаждающему аппарату 80 с целью приведения температуры газообразного возвратного потока до уровня температуры, приемлемого для частичной конденсации, составляет 9,50 ГДж/ч, таким образом требуется примерно 5,32 ГДж/ч дополнительной подводимой охлаждающей энергии согласно данному изобретению по сравнению с конфигурацией согласно предшествующему уровню техники. Однако, особенно в случае объединенных производственных площадей, затраты на охлаждающую среду, такую как охлаждающая вода, как правило, низкие, и таким образом, преобладает экономия, связанная с потреблением электроэнергии и изъятием циркуляционного компрессора.

### Промышленная применимость

В изобретении предложены способ и устройство для получения содержащего олефины сырьевого потока для установки парового риформинга. В результате охлаждения согласно данному изобретению газообразного возвратного потока до, по меньшей мере, его частичной конденсации и отдельной рециркуляции газообразной части возвратного потока и жидкой части возвратного потока, можно избежать закупки большого и сложного по своей конструкции циркуляционного компрессора, и экономить энергию, потребляемую при эксплуатации этого компрессора.

Перечень ссылочных позиций:

- 10 - трубопроводная линия;
- 12 - насос;
- 14 - трубопроводная линия;
- 20 - трубопроводная линия;
- 22 - компрессор;
- 24 - трубопроводная линия;
- 30 - теплообменник;
- 32 - трубопроводная линия;
- 34 - трубопроводная линия;
- 35 - трубопроводная линия;
- 36 - трубопроводная линия;
- 37 - регулирующий клапан;
- 40 - реактор гидрогенизации;
- 42 - трубопроводная линия;
- 50 - сепаратор;
- 52 - трубопроводная линия;
- 54 - трубопроводная линия;
- 56 - охлаждающий аппарат;
- 58 - трубопроводная линия;
- 60 - циркуляционный компрессор;
- 62 - трубопроводная линия;
- 70 - теплообменник;
- 72 - теплообменник;
- 80 - охлаждающий аппарат;
- 82 - трубопроводная линия;
- 90 - аппарат для разделения фаз;
- 92 - трубопроводная линия;
- 94 - трубопроводная линия;
- 96 - насос;
- 98 - трубопроводная линия.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения сырьевого потока для установки парового риформинга, содержащей по меньшей мере одну ступень риформинга, включающий следующие стадии:

(а) формирование первого жидкого питающего потока, содержащего олефины, и второго питающего потока, содержащего водород,

(б) объединение первого питающего потока и второго питающего потока с формированием питающего потока гидрогенизации,

(с) нагрев питающего потока гидрогенизации в нагревательном аппарате и испарение питающего потока гидрогенизации в испарительном аппарате,

(d) введение нагретого и испаренного питающего потока гидрогенизации в реактор гидрогенизации, содержащий по меньшей мере одну зону гидрогенизации, для осуществления, по меньшей мере частичной, конверсии олефинов, содержащихся в питающем потоке гидрогенизации, в реакторе гидрогенизации в условиях гидрогенизации олефинов, и отведение газообразного продуктового потока гидрогенизации олефинов из реактора гидрогенизации,

(е) разделение продуктового потока гидрогенизации олефинов в сепараторе на газообразный сырьевой поток риформинга, направляемый на установку парового риформинга, и газообразный возвратный поток,

(f) охлаждение газообразного возвратного потока, при этом частично конденсируя его, и затем введение его в аппарат для разделения фаз, в котором его разделяют на газообразную часть возвратного потока и жидкую часть возвратного потока,

(g) отведение газообразной части возвратного потока и жидкой части возвратного потока из аппарата для разделения фаз, при этом газообразную часть возвратного потока объединяют с упомянутым вто-

рым питающим потоком, а жидкую часть возвратного потока объединяют с упомянутым первым питающим потоком и/или возвращают на стадию (b) способа.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что газообразную часть возвратного потока объединяют со вторым питающим потоком и компримируют вместе с последним, или тем, что газообразную часть возвратного потока объединяют с уже компримированным вторым питающим потоком.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что нагревательный аппарат в стадии способа (c) выполнен в виде теплообменника, в котором нагревают питающий поток гидрогенизации путем косвенного теплообмена с горячим неочищенным продуктовым потоком синтез-газа из установки парового риформинга, горячим потоком топочных газов из печи риформинга, горячим продуктовым газовым потоком, поступающим из установки конверсии CO, находящейся ниже по технологическому потоку от установки парового риформинга (сдвиг CO), или с несколькими из этих горячих газовых потоков.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что в реакторе гидрогенизации также происходит, по меньшей мере, частичная конверсия органических серосодержащих соединений, находящихся в первом питающем потоке, в условиях гидродесульфуризации (ГДС), с получением десульфурированных углеводородов и сероводорода, при этом образующийся сероводород отделяют от сырьевого потока риформинга перед тем, как последний поступает в установку парового риформинга.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что охлаждение на стадии способа (f) осуществляют на нескольких ступенях, причем по меньшей мере одна охлаждающая ступень выполнена в виде теплообменника, в котором охлаждение газообразного возвратного потока происходит путем косвенного теплообмена с первым питающим потоком, вводимым в процесс, или питающим потоком гидрогенизации.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что присутствует по меньшей мере одна дополнительная ступень охлаждения, на которой охлаждение газообразного возвратного потока происходит путем косвенного теплообмена с охлаждающей средой, в частности охлаждающей водой.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что газообразный возвратный поток охлаждается до такой степени, что конденсируется по меньшей мере его половина таким образом, чтобы по меньшей мере 50 мол.%, предпочтительно по меньшей мере 70 мол.% возвратного потока находилось в жидкой форме.

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что установка парового риформинга дополнительно включает ступень/установку предварительного риформинга, в которой происходит, по меньшей мере, частичная конверсия высших углеводородов в метан в условиях предварительного риформинга.

9. Устройство для производства сырьевого потока для установки парового риформинга, включающей по меньшей мере одну ступень риформинга, содержащее следующие компоненты, сообщаемые друг с другом по потоку:

(a) средства для формирования первого жидкого питающего потока, содержащего олефины, и второго питающего потока, содержащего водород,

(b) средства для объединения первого питающего потока и второго питающего потока с формированием питающего потока гидрогенизации,

(c) нагревательный аппарат для нагрева питающего потока гидрогенизации и испарительный аппарат для испарения питающего потока гидрогенизации,

(d) реактор гидрогенизации, содержащий по меньшей мере одну зону гидрогенизации, и средства для введения нагретого и испаренного питающего потока гидрогенизации в реактор гидрогенизации, и средства для отведения газообразного продуктового потока гидрогенизации олефинов из реактора гидрогенизации,

(e) сепаратор для разделения продуктового потока гидрогенизации олефинов на газообразный сырьевой поток риформинга и газообразный возвратный поток, и средства для введения газообразного сырьевого потока риформинга в установку парового риформинга,

(f) средства для охлаждения и, по меньшей мере, частичной конденсации газообразного возвратного потока, средства для введения, по меньшей мере, частично конденсированного газообразного возвратного потока в аппарат для разделения фаз для разделения, по меньшей мере, частично конденсированного газообразного возвратного потока на газообразную часть возвратного потока и жидкую часть возвратного потока,

(g) средства для отведения газообразной части возвратного потока и жидкой части возвратного потока из аппарата для разделения фаз, средства для объединения газообразной части возвратного потока с упомянутым вторым питающим потоком, средства для объединения жидкой части возвратного потока с упомянутым первым питающим потоком, и/или средства для объединения жидкой части возвратного потока с упомянутым питающим потоком гидрогенизации.

10. Устройство по п.9, дополнительно включающее компрессор, предназначенный для компримирования второго питающего потока или второго питающего потока, объединенного с газообразной частью возвратного потока.

11. Устройство по п.9 или 10, отличающееся тем, что упомянутый нагревательный аппарат выпол-

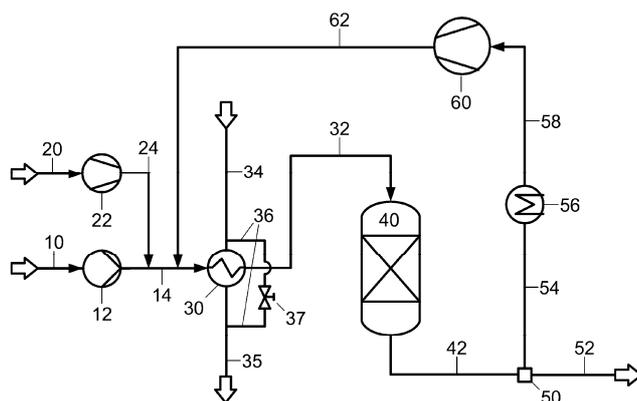
нен в виде теплообменника, предназначенного для нагрева питающего потока гидрогенизации путем косвенного теплообмена с горячим неочищенным продуктовым потоком синтез-газа из установки парового риформинга, горячим потоком топочных газов из печи риформинга, горячим продуктовым газовым потоком, поступающим из установки конверсии СО, находящейся ниже по технологическому потоку от установки парового риформинга, или с несколькими из этих горячих газовых потоков.

12. Устройство по любому из предшествующих пунктов, отличающееся тем, что реактор гидрогенизации также предназначен для, по меньшей мере, частичной конверсии органических серосодержащих соединений, находящихся в первом питающем потоке, в условиях гидродесульфуризации (ГДС) в десульфурованные углеводороды и сероводород, при этом также присутствуют средства отделения получаемого сероводорода от сырьевого потока риформинга перед тем, как последний поступает в установку парового риформинга.

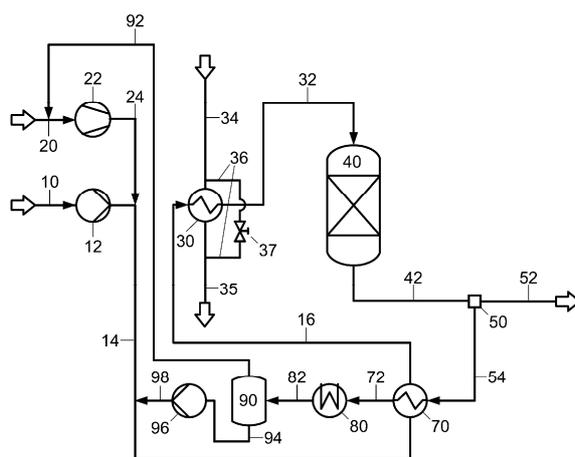
13. Устройство по любому из предшествующих пунктов, отличающееся тем, что охлаждающий аппарат включает несколько ступеней, причем по меньшей мере одна охлаждающая ступень выполнена в виде теплообменника, предназначенного для охлаждения газообразного возвратного потока путем косвенного теплообмена с первым питающим потоком, вводимым в процесс, или питающим потоком гидрогенизации.

14. Устройство по п.13, отличающееся тем, что присутствует по меньшей мере одна дополнительная ступень охлаждения, предназначенная для охлаждения газообразного возвратного потока путем косвенного теплообмена с охлаждающей средой, в частности охлаждающей водой.

15. Устройство по любому из предшествующих пунктов, отличающееся тем, что установка парового риформинга дополнительно включает ступень/установку предварительного риформинга, которая предназначена для, по меньшей мере, частичной конверсии высших углеводородов в метан в условиях предварительного риформинга.



Фиг. 1



Фиг. 2

