

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202491639 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.10.23

(51) Int. Cl. C10G 65/02 (2006.01)
C10G 45/02 (2006.01)
C10G 45/44 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.12.28

(54) СПОСОБ ГИДРИРОВАНИЯ И СИСТЕМА ГИДРИРОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО МАСЛА

(31) 202210008433.6; 202210008420.9;
202210014492.4

(32) 2022.01.06

(33) CN

(86) PCT/CN2022/142685

(87) WO 2023/131019 2023.07.13

(71) Заявитель:

ЧАЙНА ПЕТРОЛИУМ ЭНД
КЕМИКАЛ КОРПОРЕЙШН;
СИНОПЕК ДАЛЯНЬ РИСЕРЧ
ИНСТИТЬЮТ ОФ ПЕТРОЛЕУМ
ЭНД ПЕТРОКЕМИКАЛС КО., ЛТД.
(CN)

(72) Изобретатель:

Дай Мэн, Дин Хэ, Сюй Дахай, Ли
Шицай, Ли Куньпэн, Нью Шикунь, Ли
Ян (CN)

(74) Представитель:

Билык А.В., Поликарпов А.В.,
Соколова М.В., Путинцев А.И.,
Черкас Д.А., Игнатъев А.В., Дмитриев
А.В., Бельтюкова М.В. (RU)

(57) Настоящее изобретение относится к области нефтепереработки и химической технологии и раскрывает способ гидрирования и систему гидрирования углеводородного масла. Способ включает следующие стадии: (1) в присутствии водорода проведение реакции газофазного десульфирования сырьевого углеводородного масла в реакторе газофазного гидрирования с получением продукта реакции газофазного десульфирования; (2) повышение давления продукта реакции газофазного десульфирования с получением потока материала под давлением; и (3) подачу потока материала под давлением в реактор жидкофазного гидрирования и проведение реакции жидкофазного гидрирования жидкофазных компонентов в потоке материала под давлением в реакторе жидкофазного гидрирования с получением продукта реакции жидкофазного гидрирования. Способ и система, обеспечиваемые настоящим изобретением, позволяют достичь эффекта глубокого гидрирования, а также могут упростить технологический процесс, смягчить условия реакции и повысить эффективность химической реакции в целом.

A1

202491639

202491639

A1

Способ гидрирования и система гидрирования углеводородного масла

Перекрестная ссылка на родственные заявки

По настоящей заявке испрашивают приоритет заявки на патент Китая № 202210008433.6, заявки на патент Китая № 202210008420.9 и заявки на патент Китая № 202210014492.4, поданных 6 января 2022 г., содержания которых специально и полностью включены в настоящий документ посредством ссылки.

Область техники

Настоящее изобретение относится к области нефтепереработки и химической технологии, в частности, к способу гидрирования и системе гидрирования углеводородного масла.

Уровень техники

Выбросы, образующиеся при сжигании серы и полициклических ароматических углеводородов в дизельном масле, загрязняют атмосферную среду, от которой зависит существование человечества, в результате чего темпы совершенствования стандартов качества дизельного топлива постоянно ускоряются в различных странах мира. Стандарт V выбросов дизельного топлива в Китае, введенный в действие в 2017 году, требовал, чтобы содержание серы не превышало 10 мг/кг, стандарт VI качества дизельного топлива в Китае, установленный в 2019 году, требовал, чтобы содержание полициклических ароматических углеводородов не превышало 11%, а стандарт VIB качества дизельного топлива в Китае, введенный в действие с 2023 года, предъявляет жесткое требование о том, что содержание полициклических ароматических углеводородов не должно превышать 5%. Между тем спрос рынка на переработку вторичного сырья в Китае постепенно возрастает, содержание ароматических углеводородов в низкокачественном сырье (например, каталитическом дизельном топливе) достигает 60%, что предъявляет более высокие требования к активности катализаторов. Однако с точки зрения механизма реакции глубокого десульфирования и глубокой деароматизации существует большая разница между требованиями глубокого десульфирования и глубокой деароматизации в реакционной среде. Что касается реакции десульфирования, удаление низкомолекулярной серы в основном происходит по пути прямого десульфирования, то есть десульфирования

гидрогенолизом. Макромолекулярный сульфид с меньшей реакционной активностью следует по пути реакции гидродесульфирования, а именно, гидрирование происходит по ароматическому кольцу, а затем происходит десульфирование гидрогенолизом. Поэтому гидрогенолиз (эндотермический) низкомолекулярных сульфидов и гидрирование (значительно экзотермическое) веществ, содержащих ароматическое кольцо, преимущественно происходят в верхней части реактора, в среде с относительно низкой температурой и высоким парциальным давлением водорода. Накопление тепла и сероводорода в нижней части реактора приводит к тому, что реакционная среда имеет высокую температуру и низкое парциальное давление водорода, реакционная среда благоприятна для дальнейшего гидрогенолиза гидрированного макромолекулярного сульфида, но очень неблагоприятна для дальнейшего насыщения ароматических углеводородов из-за серьезных термодинамических ограничений гидрирования ароматических углеводородов. В частности, на заключительной стадии реакции активность катализатора снижается, и эффект деароматизации еще больше ухудшается, поскольку не существует лучшего средства, кроме повышения температуры. Помимо различных требований для глубокого десульфирования и глубокой деароматизации в реакционной среде, конкурентная адсорбция ароматических углеводородов на поверхности катализатора также оказывает ингибирующее воздействие на глубокое десульфирование, поэтому традиционная технология гидрирования вряд ли может удовлетворить двойные требования сверхглубокого десульфирования и эффективного насыщения ароматических углеводородов, что подчеркивает необходимость и актуальность совершенствования технологии очистки дизельного топлива.

С точки зрения предшествующего уровня техники, если глубокую деароматизацию дополнительно осуществляют на основании глубокого десульфирования, первое решение относится к способу снижения часовой объемной скорости реакции (т.е. к способу снижения производительности обработки или увеличения количества реакторов) посредством использования существующей каталитической системы, но способ нецелесообразен с точки зрения экономической эффективности. Второе решение связано с внедрением двухэтапного технологического процесса: после традиционного процесса гидрирования полученное масло подвергают отпарке для удаления сероводорода, и оно поступает в реактор гидрирования в присутствии благородных металлов, решение также значительно увеличивает стоимость использования катализатора и сложность процесса, технологический процесс до сих пор не является оптимальной схемой.

В CN 108085058 В описан способ глубокой деароматизации углеводородного масла. В способе используют мягкие условия температуры и давления, при которых сырьевое масло и газообразный водород проходят через высокодисперсный катализатор Pt-Pd/Al₂O₃, газофазный продукт реакции сжимают для рециркуляции, а жидкая фаза представляет собой продукт с низким содержанием ароматических углеводородов, но катализатор гидрирования Pt-Pd/Al₂O₃ в основном подходит для деароматизации сырьевого дизельного топлива с низким содержанием серы, его эффекты десульфирования и деароматизации низкокачественного дизельного топлива являются неудовлетворительными.

В документе CN 109926067 А описан тройной металлический катализатор гидрирования и деароматизации на основе платины, палладия и кобальта и способ его получения. В способе используют предварительную стадию пропитки предшественника реакционноспособного металла, так что степень использования благородных металлов платины и палладия является высокой, и синергетическая каталитическая способность является высокой; кроме того, вводят платину и палладий, так что эффективность ароматического гидрирования неблагородного металла кобальта улучшается. Однако катализатор все еще пригоден для углеводородного масла, из которого в основном удалены серосодержащие соединения, во избежание влияния сероводорода на глубокую деароматизацию с помощью благородных металлов, и катализатор не может быть использован для десульфирования и деароматизации с помощью благородных металлов низкокачественного дизельного топлива.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение направлено на преодоление недостатков предшествующего уровня техники и обеспечивает способ гидрирования и систему гидрирования углеводородного масла. Способ и система, обеспечиваемые настоящим изобретением, могут обеспечить эффект глубокого гидрирования, а также могут упростить технологический процесс, смягчить условия реакции и повысить эффективность химической реакции в целом.

Первый аспект настоящего изобретения обеспечивает способ гидрирования углеводородного масла, причем способ включает следующие стадии:

(1) проведение реакции газофазного десульфирования сырьевого углеводородного масла в реакторе газофазного гидрирования в присутствии газообразного водорода с получением продукта реакции газофазного десульфирования;

(2) повышение давления продукта реакции газофазного десульфирования с получением потока материала под давлением;

(3) подача потока материала под давлением в реактор жидкофазного гидрирования и проведение реакции жидкофазного гидрирования жидкофазных компонентов в потоке материала под давлением в реакторе жидкофазного гидрирования с получением продукта реакции жидкофазного гидрирования.

Предпочтительно условия газофазной реакции десульфирования включают: давление в диапазоне 0,1-2,8 МПа, более предпочтительно в диапазоне 0,5-2 МПа; температуру в диапазоне 260-400°C, более предпочтительно в диапазоне 320-390°C; объемное отношение водород/масло в диапазоне 100-900, более предпочтительно в диапазоне 300-700, и объемную скорость в диапазоне 0,5-3 ч⁻¹, более предпочтительно в диапазоне 0,8-2 ч⁻¹.

Предпочтительно условия реакции жидкофазного гидрирования включают: давление в диапазоне 2-8 МПа, более предпочтительно в диапазоне 3-6 МПа; температуру в диапазоне 200-400°C, предпочтительно 260-360°C, и объемную скорость в диапазоне 0,1-3 ч⁻¹, более предпочтительно 0,5-1 ч⁻¹.

Второй аспект настоящего изобретения обеспечивает систему гидрирования углеводородного масла, включающую реактор газофазного гидрирования, устройство для повышения давления и реактор жидкофазного гидрирования, соединенные последовательно, при этом реактор газофазного гидрирования заполнен первым катализатором гидрирования, а реактор жидкофазного гидрирования заполнен вторым катализатором гидрирования;

реактор газофазного гидрирования используют для проведения реакции газофазного десульфирования сырьевого углеводородного масла и газообразного водорода с получением продукта реакции газофазного десульфирования;

устройство для повышения давления используют для повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования с получением потока материала под давлением;

реактор жидкофазного гидрирования используют для обеспечения контакта потока материала под давлением со вторым катализатором гидрирования для проведения реакции жидкофазного гидрирования с получением продукта реакции жидкофазного гидрирования.

По сравнению с предшествующим уровнем техники способ и система гидрирования по настоящему изобретению имеют следующие преимущества.

1) Способ и система гидрирования по настоящему изобретению позволяют удалять небольшие молекулы, которые легко вступают в реакцию, в газофазном реакторе гидрирования, только непрореагировавшие большие молекулы необходимо сжижать путем повышения давления с малой амплитудой и подавать в реактор жидкофазного гидрирования, так что тяжелые компоненты, которые могут быть легко сжижены, подвергают реакции глубокой гидроочистки, что позволяет избежать недостатков предшествующего уровня техники, заключающихся в том, что глубокое десульфирование и деароматизацию выполняют в одной и той же реакционной системе, и условия реакции трудно совмещать. В ходе исследований было обнаружено, что конкурентная адсорбция других веществ (например, ароматических углеводородных веществ) в углеводородном масле может быть значительно снижена путем проведения газофазного гидродесульфирования углеводородного масла, это способствует целенаправленной реакции десульфирования, кроме того, благодаря синергетическому действию с реактором жидкофазного гидрирования способ и система гидрирования больше подходят для последующей деароматизации и глубокого удаления других веществ из углеводородного масла.

(2) Способ и система гидрирования по настоящему изобретению способствуют синхронному сжижению водорода и нефтепродуктов путем повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования и позволяют избежать влияния сероводорода на активность катализатора при поступлении водорода и сероводорода в последующий реактор жидкофазного гидрирования в связи с различными законами растворения водорода и сероводорода в нефтепродуктах, так что можно легко избежать ингибирующего действия сероводорода на глубокое десульфирование в традиционной технологии жидкофазного гидрирования, и также избегают размещения устройства отпарки и удаления сероводорода между двумя реакторами.

(3) Настоящее изобретение позволяет реализовать гидроочистку углеводородного масла в более мягких условиях эксплуатации и при упрощенном технологическом процессе, например, глубокое десульфирование и деароматизацию, используя в качестве сырья низкокачественное дизельное топливо. Прореагировавшие небольшие молекулы в продукте реакции газофазного десульфирования не сжижают в процессе повышения давления, а сжижают только посредством теплообменника и разделения под высоким давлением, такое средство сжижения благоприятно для отделения водорода от сырья, и можно извлечь большое количество водорода для рециркуляции и повысить коэффициент использования водорода. Гидрированный легкий компонент, отделенный под высоким

давлением, можно смешивать с гидрированным тяжелым компонентом и затем подавать на последующую отпарку и фракционирование потока. Вся реакционная система не требует компрессора для водорода в реакционной системе с неподвижным слоем и циркуляционного масляного насоса в системе реакции жидкофазного гидрирования, что снижает инвестиционные затраты, упрощает технологический процесс, повышает эффективность реакции и смягчает условия реакции.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1 показана схема способа и системы гидрирования углеводородного масла согласно конкретному воплощению настоящего изобретения.

На фиг. 2 показана схема способа и системы гидрирования углеводородного масла согласно другому конкретному воплощению настоящего изобретения.

Описание номеров позиций

Как показано на фиг. 1, номер позиции 1 обозначает сырьевое дизельное топливо и водород; 2 обозначает реактор газофазного гидрирования; 3 обозначает продукт реакции газофазного десульфирования; 4 обозначает устройство для повышения давления; 5 обозначает реактор жидкофазного гидрирования; 6 обозначает продукт реакции жидкофазного гидрирования; 7 обозначает газофазный компонент; 8 обозначает теплообменник; 9 обозначает разделительное устройство высокого давления; 10 обозначает водород, содержащий сероводород; 11 обозначает гидрированный легкий компонент; 12 обозначает устройство отпарки и фракционирования потока; 13 обозначает очищенный дизельный продукт.

Как показано на фиг. 2, номер позиции 1 обозначает парафиновое масло и водород; 2 обозначает реактор газофазного гидрирования; 3 обозначает продукт реакции газофазного десульфирования; 4 обозначает устройство для повышения давления; 5 обозначает реактор жидкофазного гидрирования; 6 обозначает продукт реакции жидкофазного гидрирования; 7 обозначает газофазный компонент; 8 обозначает теплообменник; 9 обозначает разделительное устройство высокого давления; 10 обозначает гидрированный легкий компонент; 11 обозначает водород, содержащий сероводород; 12 обозначает третий реактор гидрирования; 13 обозначает специальный нефтепродукт.

Описание предпочтительного воплощения

Предельные значения и любое значение диапазонов, раскрытых в настоящем документе, не ограничены точными диапазонами или значениями, такие диапазоны или значения следует понимать как включающие значения, соседние с диапазонами или значениями. Что касается численных диапазонов, значения конечных точек различных диапазонов, значения конечных точек и значения отдельных точек различных диапазонов, а также значения отдельных точек могут быть объединены друг с другом для получения одного или более новых численных диапазонов, которые следует считать конкретно раскрытыми в настоящем документе.

Описание типичных воплощений следует рассматривать со ссылкой на прилагаемые графические материалы, которые считают частью всего письменного описания. В описании относительные термины, такие как «нижний», «верхний», «горизонтальный», «вертикальный», «вверху», «внизу», «выше», «ниже», «сверху» и «снизу», а также их производные (например, «горизонтально», «расположенный ниже», «расположенный выше») следует понимать как ориентацию, показанную на описанных сопроводительных графических материалах. Эти относительные термины служат для облегчения описания и не требуют, чтобы устройство было сконструировано или эксплуатировалось в определенной ориентации. Если не указано иное, термин «соединенный», используемый в настоящем документе, относится к взаимосвязи, при которой конструкции закреплены или соединены либо напрямую, либо опосредованно через промежуточную конструкцию.

Первый аспект настоящего изобретения обеспечивает способ гидрирования углеводородного масла, включающий следующие стадии:

(1) проведение реакции газофазного десульфирования сырьевого углеводородного масла в реакторе газофазного гидрирования в присутствии газообразного водорода с получением продукта реакции газофазного десульфирования;

(2) повышение давления продукта реакции газофазного десульфирования с получением потока материала под давлением;

(3) подача потока материала под давлением в реактор жидкофазного гидрирования и проведение реакции жидкофазного гидрирования жидкофазных компонентов в потоке материала под давлением в реакторе жидкофазного гидрирования с получением продукта реакции жидкофазного гидрирования.

Водород на стадии (1) настоящего изобретения может представлять собой любой водородсодержащий газ, способный поставлять водород, который может представлять собой свежий водород, рециркулируемый водород или богатый водородом газ.

Водородосодержащий газ, описанный в настоящем изобретении, может быть ясно понятен специалистам в данной области техники после того, как они поймут технические схемы настоящего изобретения.

Настоящее изобретение имеет более широкий диапазон выбора сырьевого углеводородного масла, и способ, обеспечиваемый настоящим изобретением, подходит для любого углеводородного масла, которое требует одновременного удаления низкомолекулярных сульфидов и других макромолекулярных примесей, включая, помимо прочего, по меньшей мере одно, выбранное из группы, состоящей из низкокачественного дизельного топлива, авиационного керосина, парафинового масла и лигроина. Способ, обеспечиваемый настоящим изобретением, позволяет в основном удалять низкомолекулярные сульфиды из реактора газофазного гидрирования, только непрореагировавшие большие молекулы необходимо сжижать путем повышения давления с малой амплитудой и подавать в реактор жидкофазного гидрирования, так что тяжелые компоненты, которые можно легко сжижать, подвергают реакции глубокой гидроочистки.

Настоящее изобретение имеет более широкий диапазон выбора свойств сырьевого углеводородного масла, предпочтительно низкокачественное дизельное топливо имеет начальную температуру кипения 150-200°C, конечную температуру кипения 320-400°C, содержание S не более 20000 мкг/г, более предпочтительно не более 15000 мкг/г, содержание N не более 1000 мкг/г, более предпочтительно не более 800 мкг/г и содержание полициклических ароматических углеводородов не более 50 масс.%. Например, содержание S в низкокачественном дизельном топливе может составлять, помимо прочего, 8000 мкг/г, 9000 мкг/г, 10000 мкг/г, 11500 мкг/г и т.д., и содержание N может составлять, помимо прочего, 500 мкг/г, 600 мкг/г, 700 мкг/г и т.д., и содержание полициклических ароматических углеводородов может составлять, помимо прочего, 25 масс.%, 30 масс.%, 35 масс.%, 40 масс.%, 45 масс.% и т.д.

Предпочтительно авиационный керосин имеет начальную температуру кипения 80-150°C, конечную температуру кипения 200-300°C, содержание S не более 8000 мкг/г, более предпочтительно не более 4000 мкг/г, содержание N не более 100 мкг/г, более предпочтительно не более 20 мкг/г. Например, содержание S в авиационном керосине может составлять, помимо прочего, 500 мкг/г, 1000 мкг/г, 2000 мкг/г, 3000 мкг/г и т. д., а содержание N может составлять, помимо прочего, 5 мкг/г, 10 мкг/г, 15 мкг/г и т. д.

Предпочтительно парафиновое масло имеет начальную температуру кипения 160-220°C, конечную температуру кипения 300-400°C, содержание S не более 30000 мкг/г, более предпочтительно не более 20000 мкг/г, содержание N не более 2000 мкг/г, более

предпочтительно не более 1500 мкг/г, и содержание полициклических ароматических углеводородов не более 60 масс.%. Например, содержание S в парафиновом масле может составлять, помимо прочего, 500 мкг/г, 1000 мкг/г, 2000 мкг/г, 5000 мкг/г, 8000 мкг/г, 9000 мкг/г, 10000 мкг/г, 15000 мкг/г и т.д., а содержание N может составлять, помимо прочего, 500 мкг/г, 700 мкг/г, 1000 мкг/г, 1200 мкг/г и т.д. Содержание полициклических ароматических углеводородов может составлять, помимо прочего, 10 масс.%, 20 масс.%, 30 масс.%, 40 масс.%, 50 масс.% и т.д.

В настоящем изобретении символ « \gtr » имеет значение не более, а символ « \lessgtr » имеет значение не менее.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения реакцию газофазного десульфирования проводят в присутствии первого катализатора гидрирования, причем первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор, имеющий функцию гидродесульфирования. Настоящее изобретение имеет более широкий диапазон выбора катализатора, обладающего функцией гидродесульфирования, который может быть традиционным выбором в данной области техники, например, катализатор, обладающий функцией гидродесульфирования, включает носитель и активный металл гидрирования, где носитель представляет собой неорганический тугоплавкий оксид и обычно представляет собой один или более, выбранных из группы, состоящей из оксида алюминия, аморфного алюмосиликата, диоксида кремния и оксида титана; активный металл гидрирования включает металлический компонент VIB группы и/или металлический компонент VIII группы. В катализаторе, имеющем функцию гидродесульфирования, металлический компонент VIB группы предпочтительно выбирают из вольфрама и/или молибдена, массовое содержание металлического компонента VIB группы, рассчитанное в пересчете на оксид, в катализаторе составляет 5-30%, предпочтительно 15-30%; металлический компонент VIII группы предпочтительно выбирают из никеля и/или кобальта, и массовое содержание металлического компонента VIII группы, рассчитанное в пересчете на оксид, в катализаторе составляет 1-6%, предпочтительно 2-6%. Катализатор, обладающий функцией гидродесульфирования, может дополнительно содержать вспомогательный компонент, такой как по меньшей мере один, выбранный из группы, состоящей из фосфора, кремния, бора, магния и фтора, и массовое содержание вспомогательного компонента в катализаторе, обладающем функцией гидродесульфирования, составляет обычно менее 6 масс.%.

Катализатор, обладающий функцией гидродесульфирования, можно произвольно приготовить любым способом или можно использовать коммерчески доступный

катализатор, например, по меньшей мере один из катализаторов FHUDES-5, FHUDES-6 и FHUDES-7, исследованных и разработанных SINOPEC Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemical (FRIPP).

Согласно способу, обеспечиваемому настоящим изобретением, условия газофазной реакции десульфирования предпочтительно включают: давление в диапазоне 0,1-2,8 МПа, более предпочтительно в диапазоне 0,5-2 МПа; температуру в диапазоне 260-400°C, более предпочтительно в диапазоне 320-390°C; объемное отношение водород/масло в диапазоне 100-900, более предпочтительно в диапазоне 300-700, и объемную скорость в диапазоне 0,5-3 ч⁻¹, более предпочтительно в диапазоне 0,8-2 ч⁻¹. В способе, обеспечиваемом настоящим изобретением, реакцию газофазного гидродесульфирования проводят в соответствии с предпочтительным объемным отношением водород/масло, что больше способствует снижению парциального давления сырья и реализации полного испарения сырья. Кроме того, реакция газофазного десульфирования может быть реализована при более низком давлении, так что потребление энергии экономят в значительной степени.

Следует отметить, что во время реакции газофазного десульфирования на стадии (1) из сырьевого углеводородного масла удаляют как серу, так и азот.

Тип реактора газофазного гидрирования не ограничен особым образом в настоящем изобретении, предпочтительно реактор газофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем.

На стадии (2) настоящего изобретения повышают давление продукта реакции газофазного десульфирования, и повышение давления можно выполнять с использованием устройства для повышения давления, такого как компрессор, и тип компрессора не ограничен особым образом, примеры включают поршневой компрессор или центробежный компрессор.

Настоящее изобретение имеет более широкий диапазон выбора повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования и предпочтительно повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования для удовлетворения требований обеспечения нормальной подачи в реактор жидкофазного гидрирования и соответствия рабочему давлению реактора жидкофазного гидрирования. Настоящее изобретение способствует синхронному сжижению газообразного водорода и нефтепродуктов посредством повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования, и так как правила растворения водорода и сероводорода в нефтепродуктах являются различными, а именно, растворимость водорода высокая, а растворимость сероводорода низкая в высокотемпературных условиях, концентрация водорода в сжиженной жидкой

фазе высокая, а концентрация сероводорода низкая при поступлении в последующий реактор жидкофазного гидрирования, избегают влияния сероводорода на активность катализатора, а также избегают размещения устройства отпарки и удаления сероводорода между двумя реакторами.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до давления 2-10 МПа, предпочтительно 2,5-7,5 МПа. Выбор диапазонов повышения давления могут варьировать в зависимости от различного углеводородного сырья и различных требований к продукту.

Предпочтительно сырьевое углеводородное масло представляет собой низкокачественное дизельное топливо, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до давления 4,5-6,5 МПа. В предпочтительном воплощении реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродеароматизации. Когда сырьевое углеводородное масло представляет собой низкокачественное дизельное топливо, способ позволяет избежать недостатков, заключающихся в том, что глубокое десульфирование и деароматизацию проводят в одной и той же реакционной системе, и условия реакции трудно совмещать. Посредством регулирования условий реакции в реакторе газофазного гидрирования, содержащие ароматические кольца вещества нелегко адсорбируются на поверхности катализатора, конкурентная адсорбция ароматических углеводородных веществ значительно снижается и облегчается целевая реакция десульфирования. В то же время регулирование условий реакции в реакторе газофазного гидрирования не только облегчает газофазное десульфирование, но также обеспечивает желательный синергетический эффект с реактором жидкофазного гидрирования, что больше способствует последующему процессу глубокой ароматизации.

Согласно другому предпочтительному воплощению изобретения, сырьевое углеводородное масло представляет собой низкокачественное дизельное топливо, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до давления 4-7 МПа. В предпочтительном воплощении реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор глубокого гидродесульфирования. В предпочтительном воплощении способ по настоящему изобретению можно использовать для эффективного удаления высокомолекулярных

сульфидов при относительно низкой температуре и подходящем давлении, если дополнительно необходимо удаление полициклических ароматических углеводородов, специалисты в данной области техники могут выбрать катализатор глубокого гидродесульфирования (например, Mo-Ni катализатор) с дополнительной функцией удаления полициклических ароматических углеводородов для получения высококачественных дизельных продуктов.

Согласно другому предпочтительному воплощению настоящего изобретения сырьевое углеводородное масло представляет собой авиационный керосин, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до давления 2,5-4 МПа. В предпочтительном воплощении жидкофазное гидрирование проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродеароматизации. Когда сырьевым углеводородным маслом является авиационный керосин, способ по настоящему изобретению позволяет эффективно удалять ароматические углеводороды из авиационного керосина и повышать максимальную высоту некоптящего пламени авиационного керосина, в частности, когда содержание ароматических углеводородов в сырье увеличивают с целью увеличения производства авиационного керосина и отделения тяжелого компонента от дистиллята авиационного керосина способ может более предпочтительно подходить для реакционной среды удаления ароматических углеводородов, тем самым реализуя производство авиационного керосина с высокой максимальной высотой некоптящего пламени.

Согласно другому предпочтительному воплощению настоящего изобретения сырьевое углеводородное масло представляет собой авиационный керосин, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до давления 2,5-4 МПа. В предпочтительном воплощении реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидроизомеризации. Когда сырьевым углеводородным маслом является авиационный керосин, способом по настоящему изобретению можно эффективно подвергать изомеризации алкан с разветвленной цепью в авиационном керосине, в частности, когда содержание длинноцепочечного алкана в сырье увеличивают ради увеличения производства авиационного керосина и отделения тяжелого компонента от продукта перегонки авиационного керосина, способ может более предпочтительно подходить для реакционной среды изомеризации алканов, тем самым осуществляя производство авиационного керосина с низкой температурой замерзания.

Согласно другому предпочтительному воплощению настоящего изобретения сырьевое углеводородное масло представляет собой парафиновое масло, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до давления 5-10 МПа. В предпочтительном воплощении реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор изомеризации и гидродепарафинизации. В этом предпочтительном воплощении способ по настоящему изобретению позволяет подвергать изомеризации длинноцепочечный алкан во фракции парафинового масла для улучшения индекса вязкости специального нефтепродукта. Когда сырьевое углеводородное масло представляет собой парафиновое масло, способ предпочтительно дополнительно включает выпуск газофазного компонента потока материала под давлением вверх из жидкофазного реактора гидрирования, возможно подвергаемого обработке для удаления примесей с получением гидрированного легкого компонента, и затем смешивание гидрированного легкого компонента и жидкофазного продукта реакции гидрирования для проведения реакции гидродеароматизации с получением специального нефтепродукта, такого как очищенный нефтепродукт. Реакция гидрирования и деароматизации может быть проведена в третьем реакторе гидрирования в присутствии катализатора гидрирования и деароматизации, и форма третьего реактора гидрирования не ограничена особым образом в настоящем изобретении, и он может представлять собой реактор гидрирования с неподвижным слоем. Условия реакции выбирают в широком диапазоне, при условии, что можно плавно осуществлять гидрирование и деароматизацию.

Второй катализатор гидрирования по настоящему изобретению может быть выбран из широкого диапазона типов, при условии, что может быть достигнута указанная выше цель, например, катализатор может представлять собой катализатор гидродеароматизации, имеющий функцию гидродеароматизации, катализатор гидроизомеризации, имеющий функцию гидроизомеризации, катализатор глубокого гидродесульфирования, имеющий функцию гидрирования и десульфирования, и катализатор изомеризационной гидродепарафинизации, имеющий функцию изомеризационной гидродепарафинизации.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения катализатор гидродеароматизации может представлять собой катализатор на основе неблагородного металла или катализатор на основе благородного металла, причем катализатор на основе неблагородного металла может содержать носитель и активный металл гидрирования, причем носитель представляет собой неорганический тугоплавкий оксид, который обычно

представляет собой один или более оксидов, выбранных из группы, состоящей из оксида алюминия, аморфного алюмосиликата, диоксида кремния и оксида титана, предпочтительно оксида алюминия; активный металл гидрирования включает металлический компонент VIB группы и/или металлический компонент VIII группы. В катализаторе гидродеароматизации металлический компонент VIB группы предпочтительно выбирают из вольфрама и/или молибдена, массовое содержание металлического компонента VIB группы, рассчитанного в пересчете на оксид, в катализаторе составляет 5-30%, предпочтительно 15-30%; металлический компонент VIII группы предпочтительно выбирают из никеля и/или кобальта, и массовое содержание металлического компонента VIII группы, рассчитанного в пересчете на оксид, в катализаторе составляет 1-6%, предпочтительно 2-5%. Катализатор гидродеароматизации может дополнительно содержать вспомогательный компонент, такой как по меньшей мере один, выбранный из группы, состоящей из фосфора, кремния, бора, магния и фтора, причем массовое содержание вспомогательного компонента в катализаторе, имеющем функцию гидродесульфирования, обычно составляет менее 6 масс.%. Катализатор гидродеароматизации предпочтительно представляет собой катализатор типа Mo-Ni.

Катализатор гидродеароматизации можно приготовить любым способом или можно использовать коммерчески доступный катализатор, например, по меньшей мере, один из катализаторов FHUDES-10, FHUDES-6 и FHUDES-8, исследованных и разработанных в SINOPEC Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemical (FRIPP).

В катализаторе на основе благородного металла предпочтительно используют Pt, Pd и т.п. в качестве активного металла, и катализатор на основе благородного металла можно произвольно приготовить любым способом, или он может представлять собой коммерчески доступный катализатор, такой как катализатор FHDA-10, исследованный и разработанный в SINOPEC Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemical (FRIPP).

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения катализатор гидроизомеризации может представлять собой любой катализатор, способный выполнять функцию гидроизомеризации, и предпочтительно катализатор нанесен на носитель из оксида алюминия с добавлением молекулярного сита (включая, помимо прочего, по меньшей мере одно из молекулярного сита ZSM-5, молекулярного сита Y и молекулярного сита β), и используют металл VIII группы в качестве активного компонента (включая, помимо прочего, Ni), катализатор можно произвольно приготовить любым способом, или он может представлять собой коммерчески доступный катализатор,

например, катализатор FDW-3, исследованный и разработанный в SINOPEC Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemical (FRIPP).

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения катализатор глубокого гидродесульфурирования может представлять собой любой катализатор, способный выполнять функцию удаления больших молекул серы, носитель катализатора предпочтительно представляет собой оксид алюминия, и используют металл VIB группы и металл VIII группы в качестве активного компонента, выбор указанного металла VIB группы и металла VIII группы такой, как описано выше, катализатор можно произвольно приготовить любым способом, или он может представлять собой коммерчески доступный катализатор, например, один из катализаторов FHUDES-5 и FHUDES-7, исследованных и разработанных в SINOPEC Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemical (FRIPP).

Выбор катализатора изомеризационной гидродепарафинизации не ограничен особым образом в настоящем изобретении, катализатор может представлять собой различные катализаторы изомеризационной гидродепарафинизации, обычно используемые в предшествующем уровне техники. Конкретный диапазон выбора его активных компонентов и носителя может быть таким же, как и у катализаторов гидроизомеризации, подробности повторно не описаны в настоящем документе.

Следует отметить, что катализатор, имеющий определенную функцию, описанный в настоящем изобретении, не означает, что катализатор может выполнять только такую функцию, но главным образом выполняет такую функцию, например, катализатор гидродесульфурирования не означает, что он может выполнять только функцию гидродесульфурирования, но в основном реализует функцию гидродесульфурирования в среде своего применения.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения давление реакции жидкофазного гидрирования выше давления газофазного гидродесульфурирования по меньшей мере на 1 МПа, предпочтительно на 1,5-7 МПа и более предпочтительно на 2,5-6 МПа. Способ, обеспечиваемый настоящим изобретением, можно использовать для проведения реакции при среднем и низком давлении, что значительно смягчает условия реакции и экономит потребление энергии.

Согласно способу, обеспечиваемому настоящим изобретением, предпочтительно условия реакции жидкофазного гидрирования включают: давление в диапазоне 2-8 МПа, более предпочтительно в диапазоне 3-6 МПа; температуру в диапазоне 200-400°C, более

предпочтительно 260-360°C, и объемную скорость в диапазоне 0,1-3 ч⁻¹, более предпочтительно 0,5-1 ч⁻¹.

Тип реактора жидкофазного гидрирования не ограничен особым образом в настоящем изобретении, предпочтительно реактор жидкофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения реактор жидкофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем, снабженный зоной разделения газа и жидкости. Зона разделения газа и жидкости может представлять собой любую зону, способную обеспечить разделение, и может представлять собой, например, зону мгновенного испарения, то есть реактор жидкофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем, снабженный зоной мгновенного испарения.

В частности, зона мгновенного испарения расположена в реакторе жидкофазного гидрирования, катализатор не засыпан в зоне мгновенного испарения или выше, зона реакции жидкофазного гидролиза расположена ниже зоны мгновенного испарения, поток материала (газожидкостная смешанная фаза), полученный после повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования подают в зону мгновенного испарения реактора жидкофазного гидрирования, полученный газофазный компонент отводят сверху из реактора жидкофазного гидрирования, полученные жидкофазные компоненты протекают вниз и подвергаются реакции жидкофазного гидрирования, и полученный продукт реакции жидкофазного гидрирования (т.е. гидрированный тяжелый компонент) выгружают из нижней части реактора жидкофазного гидрирования.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения газофазный компонент потока материала под давлением отводят вверх из реактора жидкофазного гидрирования, возможно подвергая обработке по удалению примесей для получения гидрированного легкого компонента.

В настоящем изобретении предложен широкий выбор способов обработки для удаления примесей, включая, помимо прочего, способы обработки по удалению сероводорода. Предпочтительно обработка для удаления примесей включает обработку для удаления сероводорода, более предпочтительно включает: проведение теплообмена газофазного компонента и затем разделение под высоким давлением с получением гидрированного легкого компонента и водородсодержащего сероводорода. Согласно способу, обеспечиваемому настоящим изобретением, в продукте реакции газофазного десульфирования прореагировавшие небольшие молекулы не сжижаются в процессе

повышения давления, а сжижаются только посредством теплообменника и разделения под высоким давлением, такое средство сжижения является предпочтительным для отделения газообразного водорода от сырья, может восстановить большое количество водорода для рециркуляции и повысить коэффициент использования водорода. Гидрированный легкий компонент, отделенный под высоким давлением, может поступать в последующую систему отпарки и фракционирования потока после смешивания с гидрированным тяжелым компонентом. Вся реакционная система не требует компрессора для водорода в реакционной системе с неподвижным слоем и циркуляционным масляным насосом в системе реакции жидкофазного гидрирования, что снижает инвестиционные затраты, упрощает технологический процесс, повышает эффективность реакции и смягчает условия реакции.

Теплообмен можно осуществлять в теплообменнике. Разделение под высоким давлением можно выполнять в сепараторе высокого давления. Условия теплообмена и разделения под высоким давлением не ограничены особым образом в настоящем изобретении, пока может быть достигнута вышеуказанная цель.

Предпочтительно при теплообмене газофазный компонент охлаждают до диапазона температур 100-200°C, более предпочтительно до диапазона температур 120-150°C.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения способ дополнительно включает: смешивание жидкофазного продукта реакции гидрирования (также называемого гидрированным тяжелым компонентом) и гидрированного легкого компонента с получением продукта гидрирования.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения, способ дополнительно включает проведение отпарки продукта гидрирования (для удаления сероводорода) и фракционной перегонки с получением целевого продукта. Конкретные условия отпарки и фракционной перегонки не ограничены особым образом, и их можно применять в зависимости от сырья и требований к характеристикам целевого продукта. Например, когда сырьевым углеводородным маслом является низкокачественное дизельное топливо, продукт гидрирования подвергают отпарке и фракционной перегонке, и отделяют фракцию лигроина для получения очищенного дизельного продукта.

Предпочтительно продукт гидрирования представляет собой очищенный дизельный продукт, при этом очищенный дизельный продукт имеет содержание полициклических ароматических углеводородов менее 5 масс.% и содержание S менее 10 мкг/г.

Предпочтительно продукт гидрирования представляет собой очищенный авиационный керосиновый продукт, при этом очищенный авиационный керосиновый продукт имеет максимальную высоту некопящего пламени более 26 мм и/или температуру замерзания ниже -50°C .

Предпочтительно продукт гидрирования представляет собой специальный нефтепродукт, при этом специальный нефтепродукт имеет содержание ароматических углеводородов менее 5 масс.% и содержание S менее 10 мкг/г.

Второй аспект настоящего изобретения обеспечивает систему гидрирования углеводородного масла, включающую реактор газофазного гидрирования, устройство для повышения давления и реактор жидкофазного гидрирования, соединенные последовательно, при этом реактор газофазного гидрирования заполнен первым катализатором гидрирования, а реактор жидкофазного гидрирования заполнен вторым катализатором гидрирования;

реактор газофазного гидрирования используют для проведения реакции газофазного десульфирования сырьевого углеводородного масла и газообразного водорода с получением продукта реакции газофазного десульфирования;

устройство для повышения давления используют для повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования с получением потока материала под давлением;

реактор жидкофазного гидрирования используют для обеспечения контакта потока материала под давлением со вторым катализатором гидрирования для проведения реакции жидкофазного гидрирования с получением продукта реакции жидкофазного гидрирования.

Предпочтительно устройство для повышения давления используют для повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования до диапазона давлений 2-10 МПа, предпочтительно 2,5-7,5 МПа. Тип устройства для повышения давления не ограничен особым образом в настоящем изобретении, например, устройство для повышения давления может представлять собой компрессор, и тип компрессора не ограничен особым образом, примеры включают поршневой компрессор или центробежный компрессор.

В системе, обеспечиваемой настоящим изобретением, типы первого катализатора гидрирования и второго катализатора гидрирования могут быть расположены в соответствии с типом сырьевого углеводородного масла, и конкретный стандарт может

быть выбран в соответствии с содержанием первого аспекта, подробности которого здесь не описаны повторно.

Предпочтительно сырьевое углеводородное масло представляет собой дизельное топливо, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродеароматизации, или

сырьевое углеводородное масло представляет собой дизельное топливо, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор глубокого гидродесульфирования, или

сырьевое углеводородное масло представляет собой авиационный керосин, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродеароматизации; или

сырьевое углеводородное масло представляет собой авиационный керосин, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидроизомеризации; или

сырьевое углеводородное масло представляет собой парафиновое масло, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор изомеризации и гидродепарафинизации.

Конкретный выбор первого катализатора гидрирования и второго катализатора гидрирования может быть таким же, как и в первом аспекте, подробности в настоящем документе повторно не описаны.

Согласно системе, обеспечиваемой настоящим изобретением, предпочтительно реактор газофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения выход для газофазного компонента обеспечен в верхней части жидкофазного реактора гидрирования, а выход для продукта жидкофазной реакции гидрирования расположен в его нижней части.

Согласно системе, обеспечиваемой настоящим изобретением, реактор жидкофазного гидрирования предпочтительно представляет собой реактор с неподвижным слоем, более предпочтительно реактор с неподвижным слоем, снабженный

зоной разделения газа и жидкости. В частности, зона разделения газа и жидкости может представлять собой любую зону, способную осуществлять разделение, такую как зона мгновенного испарения, то есть реактор жидкофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем, снабженный зоной мгновенного испарения. В частности, реактор жидкофазного гидрирования снабжен зоной мгновенного испарения, катализатор не засыпают в зону мгновенного испарения и выше, и зона реакции жидкофазного гидрирования расположена ниже зоны мгновенного испарения, то есть зона разделения газа и жидкости предпочтительно расположена над зоной жидкофазной реакции. Поток материала (газожидкостная смешанная фаза), полученный после повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования, подают в зону мгновенного испарения реактора жидкофазного гидрирования, полученный газофазный компонент отводят вверх из верхнего выхода в реакторе жидкофазного гидрирования, полученный жидкофазный компонент протекает вниз для осуществления жидкофазной реакции гидрирования, полученный жидкофазный продукт реакции гидрирования (т.е. гидрированный тяжелый компонент) выгружают из нижнего выхода жидкофазного реактора гидрирования.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения система дополнительно содержит устройство для удаления примесей, причем вход устройства для удаления примесей сообщается с выходом для газофазного компонента реактора жидкофазного гидрирования для проведения обработки газофазного компонента в потоке материала под давлением, выпускаемого из реактора жидкофазного гидрирования, для удаления примесей с получением гидрированного легкого компонента.

Предпочтительно устройство для удаления примесей представляет собой устройство для удаления сероводорода.

Предпочтительно устройство для удаления сероводорода содержит теплообменник и разделительное устройство высокого давления, которые сообщаются между собой.

Согласно системе, обеспечиваемой настоящим изобретением, предпочтительно выход для газофазного компонента реактора жидкофазного гидрирования сообщается со входом теплообменника, а выход теплообменника соединен со входом разделительного устройства высокого давления. Газофазный компонент подвергают теплообмену и разделению под высоким давлением с получением гидрированного легкого компонента и водородсодержащего сероводорода. Богатый водородом газ, полученный после обработки водородсодержащего сероводорода, пригоден для повторного использования.

Предпочтительно теплообменник используют для охлаждения газофазного компонента, предпочтительно для охлаждения газофазного компонента до диапазона температур 100-200°C, более предпочтительно до диапазона температур 120-150°C.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения система дополнительно включает смесительное устройство для приема и смешивания жидкофазного продукта реакции гидрирования и гидрированного легкого компонента с получением продукта гидрирования.

В частности, выход для газофазного компонента реактора жидкофазного гидрирования последовательно соединен с теплообменником и сепаратором высокого давления, а выпускной трубопровод для жидкой фазы в нижней части реактора жидкофазного гидрирования соединен с выпускным трубопроводом для жидкой фазы в нижней части сепаратора высокого давления, газофазный компонент и жидкофазные компоненты совместно подают в смесительное устройство.

Согласно предпочтительному воплощению настоящего изобретения система дополнительно содержит устройство отпарки и фракционирования потока для отпарки (удаления сероводорода) и фракционирования продуктов гидрирования. Конкретные условия отпарки и фракционирования не ограничены особым образом и могут быть реализованы в соответствии с сырьем и требованиями к характеристикам целевого продукта. Конкретные основания могут быть такими, как описано выше.

Когда сырьевое углеводородное масло представляет собой парафиновое масло, система предпочтительно дополнительно содержит третий реактор гидрирования, заполненный третьим катализатором гидрирования (предпочтительно представляющий собой катализатор гидродеароматизации), вход третьего реактора гидрирования сообщается с выходом для продукта реакции жидкофазного гидрирования третьего реактора гидрирования и выходом для гидрированного легкого компонента устройства для удаления примесей, так что гидрированный легкий компонент и жидкофазный продукт реакции гидрирования подвергают реакции деароматизации гидрированием.

Схемы и эффекты настоящего изобретения дополнительно описаны ниже со ссылкой на примеры.

Если не указано иное, в настоящем изобретении, проценты и процентное содержание выражены в массовом соотношении.

Способ и система по настоящему изобретению подробно описаны ниже со ссылкой на фиг. 1. Примеры приведены с использованием дизельного топлива в качестве сырьевого углеводородного масла. Дизельное сырье и газообразный водород 1 поступали

в реактор 2 газофазного гидрирования (также называемый первым реактором гидрирования) для проведения реакции газофазного десульфирования с получением продукта 3 реакции газофазного десульфирования; продукт 3 реакции газофазного десульфирования поступал в устройство 4 для повышения давления (компрессор), давление повышали с помощью компрессора, и находящийся под давлением продукт 3 реакции газофазного десульфирования поступал в реактор 5 жидкофазного гидрирования (также называемый вторым реактором гидрирования), снабженный зоной мгновенного испарения, в которой жидкофазные компоненты протекали вниз, чтобы поступить в реакционную зону для проведения реакции деароматизации гидрированием с получением продукта 6 реакции жидкофазного гидрирования (гидрированного тяжелого компонента); газофазный компонент 7 выгружали из реактора жидкофазного гидрирования и вводили в теплообменник 8, затем он поступал в разделительное устройство 9 высокого давления для разделения на гидрированный легкий компонент 11 и содержащий водород сероводород 10, продукт 6 реакции жидкофазного гидрирования и гидрированный легкий компонент 11 смешивали и смесь вводили в устройство 12 отпарки и фракционирования, и наконец получали очищенный дизельный продукт 13.

Примеры 1-3

Способ осуществляли согласно схеме технологического процесса, показанной на фиг. 1. Два реактора гидрирования с неподвижным слоем объемом 100 мл были соединены последовательно, а именно, реактор газофазного гидрирования и реактор жидкофазного гидрирования соответственно. Между двумя реакторами был установлен обычный мощный поршневой компрессор. Реактор газофазного гидрирования был заполнен 50 мл катализатора А гидрирования дизельного топлива типа Mo-Co, реактор жидкофазного гидрирования был заполнен 50 мл катализатора В гидрирования дизельного топлива типа Mo-Ni, и зона мгновенного испарения была расположена верхней части реактора жидкофазного гидрирования. Выход для газофазного компонента был расположен в верхней части реактора жидкофазного гидрирования и был последовательно соединен с теплообменником (который охлаждал газофазный компонент до 130°C) и сепаратором высокого давления, выход для жидкой фазы был расположен в нижней части реактора жидкофазного гидрирования, выпускной трубопровод для жидкой фазы был соединен с выпускным трубопроводом для жидкой фазы в нижней части сепаратора высокого давления и совместно входил в последующее устройство отпарки и

фракционирования для отделения лигроиновой фракции, при этом получали очищенный дизельный продукт (с температурой начала кипения 150°C).

В качестве сырья использовали смесь прямогонного дизельного топлива, дизельного топлива коксования и каталитического дизельного топлива. Свойства катализатора представлены в таблице 1, свойства сырьевого масла показаны в таблице 2, а реакционные условия процесса и результаты показаны в таблице 3.

Сравнительный пример 1

Реактор гидрирования (т.е. первый реактор гидрирования) был размещен в соответствии с традиционным технологическим процессом гидрирования дизельного топлива в неподвижном слое. В соответствии с традиционной системой градиентной загрузки катализатора был выбран режим засыпки катализатора В типа Мо-Ni в верхней части и засыпки катализатора А типа Мо-Со в нижней части, при этом объемы засыпки составляли 50 мл соответственно. Высокое фракционирование, низкое фракционирование, отпарка и другие технологические процессы после реактора были размещены обычным образом для получения дизельного продукта. Водород после удаления сероводорода подвергали сжатию с помощью компрессора для рециркулируемого водорода для рециркуляции. Сырье и свойства катализатора были такими же, как в примерах 1-3, реакционные условия процесса и результаты представлены в таблице 3.

Сравнительный пример 2

Реактор гидрирования (т.е. первый реактор гидрирования) был размещен в соответствии с традиционным технологическим процессом гидрирования дизельного топлива в неподвижном слое. В соответствии с последовательностями градиентной загрузки катализаторов, такими же, как в примерах 1-3, был выбран режим засыпки катализатора А типа Мо-Со в верхней части и засыпки катализатора В типа Мо-Ni в нижней части, и объемы засыпки составляли 50 мл соответственно. Высокое фракционирование, низкое фракционирование, отпарка и другие технологические процессы после реактора были размещены обычным образом для получения дизельного продукта. Водород после удаления сероводорода подвергали сжатию с помощью компрессора для рециркулируемого водорода для рециркуляции. Сырье и свойства катализатора были такими же, как в примерах 1-3, реакционные условия процесса и результаты представлены в таблице 3.

Сравнительный пример 3

Два реактора гидрирования (т.е. первый реактор гидрирования и второй реактор гидрирования) были соединены последовательно в соответствии с традиционным технологическим процессом гидрирования дизельного топлива в неподвижном слое, и между двумя реакторами была расположена отпарная колонна. 50 мл катализатора А типа Мо-Со загружали в первый реактор 1 гидрирования, а 50 мл катализатора В типа Мо-Ni загружали во второй реактор 2 гидрирования. Высокое фракционирование, низкое фракционирование, отпарка и другие технологические процессы были размещены обычным образом после реакторов для получения дизельного продукта. Водород после удаления сероводорода подвергали сжатию с помощью компрессора для рециркулируемого водорода для рециркуляции. Сырье и свойства катализатора были такими же, как в примерах 1-3, реакционные условия процесса и результаты представлены в таблице 3.

Сравнительный пример 4

Использовали тот же технологический процесс гидрирования, что и в примерах 1-3, за исключением того, что между первым реактором гидрирования и вторым реактором гидрирования устанавливали мощный поршневой компрессор и регулировали условия процесса, реакционные условия процесса и результаты показаны в таблице 3.

Таблица 1. Физико-химические свойства катализаторов

Наименование катализатора	А	В
Товарная марка	FHUDS-7	FHUDS-8
Активный металл	Мо-Со	Мо-Ni
МоО ₃ , масс.%	20	24
NiO или СоО, масс.%	3,5	5,0
Форма	Трилистник	Трилистник
Диаметр, мм	1,2	1,2
Удельная площадь поверхности, м ² /г	180	180
Объем пор, мл/г	0,35	0,35

Таблица 2. Свойства сырьевого масла

Свойства нефтепродукта	
Плотность (20°C), г/см ³	0,89
Диапазон температур перегонки, °С	180-370
S, мкг/г	10360
N, мкг/г	713
Ароматические углеводороды, масс.%	63,5

Полициклические ароматические углеводороды, масс.%	32,2
Моноциклические ароматические углеводороды, масс.%	31,3

Таблица 3. Условия процесса гидрирования и результаты

	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Сравнит. пример 1	Сравнит. пример 2	Сравнит. пример 3	Сравнит. пример 4
Первый реактор гидрирования							
Давление, МПа	0,5	0,5	1,0	6,5	6,5	6,5	3,5
Температура, °С	370	375	380	370	360	380	350
Объемное отношение водород/масло, об./об.	500	500	500	500	500	500	1080
Объемная скорость, ч ⁻¹	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0
Второй реактор гидрирования							
Давление, МПа	4	5	6	—	—	6,5	10,0
Температура, °С	300	320	340	—	—	360	320
Объемная скорость, ч ⁻¹	0,5	0,6	0,7	—	—	1,0	0,5
Свойства очищенного дизельного продукта							
S, мкг/г	9,0	7,3	6,1	5,3	18,1	8,1	73,3
N, мкг/г	5,3	4,2	3,9	3,2	7,3	5,0	17,7
Полициклические ароматические углеводороды, масс.%	4,9	4,1	3,7	11,7	8,7	7,1	19,6

Как показано в таблице 3, в сравнительном примере 1 использовали традиционную технологию гидрирования с неподвижным слоем и традиционную систему заполнения катализатором, гидрирование полициклических ароматических углеводородов проводили в верхней части реактора, глубокое десульфирование проводили в нижней части реактора, и для достижения эффекта глубокого десульфирования условия реакции гидрирования ароматических углеводородов вряд ли могут быть приняты во внимание, и эффект удаления полициклических ароматических углеводородов является неудовлетворительным. Напротив, давление реакционной системы в настоящем изобретении значительно снижено, и поскольку десульфирование и деароматизация разделены на две реакционные системы, условия реакции могут быть целенаправленно оптимизированы для получения лучшего эффекта деароматизации.

В технологии гидрирования с неподвижным слоем сравнительного примера 2 применяли ту же последовательность загрузки катализатора, что и в примерах по изобретению: сульфиды удаляли в верхней части реактора, а реакцию гидрирования ароматических углеводородов насыщением осуществляли в нижней части реактора, как

эффект удаления сульфидов, так и эффект гидрирования ароматических углеводородов были неудовлетворительными из-за большого роста температуры в нижней части реактора и термодинамических ограничений, налагаемых на гидрирование ароматических углеводородов.

Два реактора, используемые в сравнительном примере 3, представляли собой традиционные реакторы гидрирования с неподвижным слоем, условия реакции были жесткими, и как потребление водорода, так и потребление энергии были высокими; кроме того, учитывая, что поток первого реактора полностью поступал во второй реактор, так что объемная скорость гидрирования ароматических углеводородов во втором реакторе увеличивалась, эффект удаления полициклических ароматических углеводородов ухудшался.

В сравнительном примере 4, поскольку отношение водорода к маслу в реакторе газофазного гидрирования было слишком высоким, парциальное давление сырьевого масла было снижено, и это повлияло на адсорбцию сульфидов на поверхности катализатора, таким образом эффект десульфирования не был идеальным. Между тем, трудность сжижения газифицированного потока газофазного реактора явно увеличилась, тяжелые компоненты вряд ли могут быть полностью сжижены даже при высоком реакционном давлении 10 МПа, что повлияло на эффект удаления полициклических ароматических углеводородов.

Пример 4

Способ осуществляли согласно схеме технологического процесса, показанной на фиг. 1. Два реактора гидрирования с неподвижным слоем объемом 100 мл были соединены последовательно, а именно, реактор газофазного гидрирования и реактор жидкофазного гидрирования соответственно. Между двумя реакторами был установлен обычный мощный поршневой компрессор. Реактор газофазного гидрирования был заполнен 50 мл катализатора А гидрирования типа Mo-Ni, реактор жидкофазного гидрирования был заполнен 50 мл катализатора В изомеризации (торговой марки FDW-3), и зона мгновенного испарения была расположена в верхней части реактора жидкофазного гидрирования. Выход газофазного компонента был расположен в верхней части реактора жидкофазного гидрирования и был последовательно соединен с теплообменником (охлаждавшим газофазный компонент до 130°C) и сепаратором высокого давления, выход для жидкой фазы был расположен в нижней части реактора жидкофазного гидрирования, выпускной трубопровод для жидкой фазы был соединен с выпускным трубопроводом для

жидкой фазы в нижней части сепаратора высокого давления и совместно входил в последующее устройство отпарки и фракционирования.

Свойства катализатора показаны в таблице 4, свойства сырьевого масла показаны для авиационного керосина 1 в таблице 5, и реакционные условия процесса и результаты показаны в таблице 6.

Пример 5

Способ осуществляли согласно схеме технологического процесса, показанной на фиг. 1. Два реактора гидрирования с неподвижным слоем объемом 100 мл были соединены последовательно. Между двумя реакторами был установлен поршневой компрессор. Первый реактор представлял собой реактор газофазного гидрирования, заполненный 50 мл катализатора А гидрирования дизельного топлива типа Mo-Ni, а второй реактор представлял собой реактор жидкофазного гидрирования, заполненный 50 мл катализатора С гидрирования на основе Ni, и в верхней части реактора жидкофазного гидрирования было расположено устройство мгновенного испарения. Выход для газофазного компонента был расположен в верхней части второго реактора и последовательно соединен с теплообменником (который охлаждал газофазный компонент до 130°C) и сепаратором высокого давления, выпускной трубопровод для жидкой фазы в нижней части второго реактора был соединен с выпускным трубопроводом для жидкой фазы в нижней части сепаратора высокого давления, и они совместно поступали в последующее устройство отпарки и фракционирования.

Свойства катализаторов показаны в таблице 4, свойства сырьевого масла показаны для авиационного керосина 2 в таблице 5, а реакционные условия процесса и результаты проиллюстрированы в таблице 6.

Пример 6

Способ осуществляли согласно схеме технологического процесса, показанной на фиг. 1. Два реактора гидрирования с неподвижным слоем объемом 100 мл были соединены последовательно, а именно, первый реактор и второй реактор соответственно. Между двумя реакторами был установлен обычный мощный поршневой компрессор. Первый реактор представлял собой реактор газофазного десульфирования, заполненный 50 мл катализатора D гидродесульфирования дизельного топлива типа Mo-Ni, второй реактор представлял собой реактор жидкофазного десульфирования, заполненный 50 мл катализатора E гидродесульфирования дизельного топлива типа Mo-Co, и реактор

мгновенного испарения был расположен в верхней части второго реактора. Выход для газофазного компонента был расположен в верхней части второго реактора и последовательно соединен с теплообменником (который охлаждал газофазный компонент до 130°C) и сепаратором высокого давления, выпускной трубопровод для жидкой фазы в нижней части второго реактора был соединен с выпускным трубопроводом для жидкой фазы в нижней части сепаратора высокого давления, и они совместно поступали в последующее устройство отпарки и фракционирования для отделения лигроиновой фракции, при этом получали низкосернистый дизельный продукт (с температурой начала кипения 180°C).

Свойства катализатора показаны в таблице 4, свойства сырьевого масла показаны для дизельного топлива в таблице 5, а реакционные условия процесса и результаты проиллюстрированы в таблице 6.

Пример 7

Способ осуществляли согласно схеме технологического процесса, показанной на фиг. 2. Три реактора гидрирования с неподвижным слоем объемом 100 мл были соединены последовательно, а именно первый реактор, второй реактор и третий реактор соответственно. Между первым реактором и вторым реактором был установлен обычный мощный поршневой компрессор. Первый реактор представлял собой реактор газофазного десульфирования, заполненный 50 мл катализатора E гидрирования дизельного топлива типа Mo-Co, второй реактор представлял собой реактор жидкофазного десульфирования, заполненный 50 мл катализатора B изомеризационной гидродепарафинизации на основе Ni, и зона мгновенного испарения была расположена в верхней части второго реактора. Выход для газофазного компонента был расположен в верхней части второго реактора и был последовательно соединен с теплообменником (который охлаждал газофазный компонент до 130°C) и сепаратором высокого давления, выпускной трубопровод для жидкой фазы в нижней части второго реактора был соединен с выпускным трубопроводом для жидкой фазы в нижней части сепаратора высокого давления, и они совместно поступали в последующий третий реактор, заполненный 50 мл Mo-Ni катализатора D глубокого гидрирования, при этом в конце получали специальный нефтепродукт.

Свойства катализаторов показаны в таблице 4, свойства сырьевого масла показаны для парафинового масла в таблице 5, а реакционные условия процесса и результаты проиллюстрированы в таблице 6.

Таблица 4. Физико-химические свойства катализаторов

Наименование катализатора	A	B	C	D	E
Носитель	Al ₂ O ₃	ZSM-5-Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Активный металл	Ni-Mo	Ni	Ni	Mo-Ni	Mo-Co
NiO или CoO масс. %	4,5	2,2	20	24	20
MoO ₃ или WO ₃ , масс. %	15	-	-	5	3,5
Форма	Трилистник	Трубчатая полоса	Трилистник	Трилистник	Трилистник
Диаметр	2,0	1,4-1,6	1,2	1,2	1,2
Удельная площадь поверхности, м ² /г	170	180	100	180	180
Объем пор, мл/г	0,45	0,40	0,55	0,35	0,35

Таблица 5. Свойства сырьевого масла

Свойства нефтепродукта	Авиационный керосин 1	Авиационный керосин 2	Дизельное топливо	Парафиновое масло
Плотность (20°C), г/см ³	0,72	0,74	0,87	0,875
Диапазон температур перегонки, °C	140-300	150-300	180-370	180-513
S, мкг/г	1735	1637	12130	3900
N, мкг/г	20	10	769	-
Ароматические углеводороды, масс. %				35
Максимальная высота некопящего пламени, мм	22	20	-	-
Температура замерзания, °C	-45	-46	-	-

Таблица 6. Условия процесса гидрирования и результаты

	Пример 4	Пример 5	Пример 6	Пример 7
Первый реактор гидрирования				
Давление, МПа	0,5	1,0	1,0	2,0
Температура, °C	260	250	370	370
Объемное отношение водород/масло, об./об.	300	300	500	500
Объемная скорость, ч ⁻¹	1,0	3,0	1,0	1,0
Второй реактор гидрирования				
Давление, МПа	5,0	4,0	6	9

Температура, °С	320	140	370	360
Объемная скорость, ч ⁻¹	0,2	1,0	0,7	0,75
Третий реактор гидрирования				
Давление, МПа				7
Температура, °С				340
Объемная скорость, ч ⁻¹				1,5
Продукт				
S, мкг/г	14,1	26	3,1	0,2
N, мкг/г	1,3	2,6	0,9	-
Ароматические углеводороды, масс. %				3,7
Температура замерзания, °С	-54,9	-49		
Максимальная высота некопящего пламени, мм	24	27,6		

В приведенном выше описании подробно описаны предпочтительные воплощения изобретения, но изобретение ими не ограничено. В отношении технических решений изобретения могут быть сделаны различные простые модификации в пределах объема технической концепции изобретения, включая комбинацию отдельных технических признаков любым другим подходящим способом, такие простые модификации и их комбинации также следует считать раскрытыми в изобретении, и каждое из них попадает в объем защиты изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ гидрирования углеводородного масла, отличающийся тем, что способ включает следующие стадии:

(1) проведение реакции газофазного десульфирования сырьевого углеводородного масла в реакторе газофазного гидрирования в присутствии газообразного водорода с получением продукта реакции газофазного десульфирования;

(2) повышение давления продукта реакции газофазного десульфирования с получением потока материала под давлением;

(3) подача потока материала под давлением в реактор жидкофазного гидрирования и проведение реакции жидкофазного гидрирования жидкофазных компонентов в потоке материала под давлением в реакторе жидкофазного гидрирования с получением продукта реакции жидкофазного гидрирования.

2. Способ по п.1, в котором сырьевое углеводородное масло представляет собой по меньшей мере одно, выбранное из группы, состоящей из низкокачественного дизельного топлива, авиационного керосина, парафинового масла и лигроина;

предпочтительно низкокачественное дизельное топливо имеет начальную температуру кипения 150-200°C, конечную температуру кипения 320-400°C, содержание S не более 20000 мкг/г, более предпочтительно не более 15000 мкг/г, содержание N не более 1000 мкг/г, более предпочтительно не более 800 мкг/г и содержание полициклических ароматических углеводородов не более 50 масс.%;

предпочтительно авиационный керосин имеет начальную температуру кипения 80-150°C, конечную температуру кипения 200-300°C, содержание S не более 8000 мкг/г, более предпочтительно не более 4000 мкг/г, содержание N не более 100 мкг/г, более предпочтительно не более 20 мкг/г;

предпочтительно парафиновое масло имеет начальную температуру кипения 160-220°C, конечную температуру кипения 300-400°C, содержание S не более 30000 мкг/г, более предпочтительно не более 20000 мкг/г, содержание N не более 2000 мкг/г, более предпочтительно не более 1500 мкг/г, и содержание полициклических ароматических углеводородов не более 60 масс.%.

3. Способ по п.1 или п.2, в котором реакцию газофазного десульфирования проводят в присутствии первого катализатора гидрирования, причем первый катализатор

гидрирования представляет собой катализатор, имеющий функцию гидродесульфирования;

предпочтительно условия газофазной реакции десульфирования включают: давление в диапазоне 0,1-2,8 МПа, более предпочтительно в диапазоне 0,5-2 МПа; температуру в диапазоне 260-400°C, более предпочтительно в диапазоне 320-390°C; объемное отношение водород/масло в диапазоне 100-900, более предпочтительно в диапазоне 300-700, и объемную скорость в диапазоне 0,5-3 ч⁻¹, более предпочтительно в диапазоне 0,8-2 ч⁻¹;

предпочтительно реактор газофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем.

4. Способ по любому из пп.1-3, в котором на стадии (2) давление продукта реакции газофазного десульфирования повышают до давления 2-10 МПа, предпочтительно до 2,5-7,5 МПа.

5. Способ по любому из пп.1-4, в котором сырьевое углеводородное масло представляет собой низкокачественное дизельное топливо, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до 4,5-6,5 МПа;

предпочтительно реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродеароматизации.

6. Способ по любому из пп.1-4, в котором сырьевое углеводородное масло представляет собой низкокачественное дизельное топливо, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до 4-7 МПа;

предпочтительно реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор глубокого десульфирования.

7. Способ по любому из пп.1-4, в котором сырьевое углеводородное масло представляет собой авиационный керосин, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до 2,5-4 МПа;

предпочтительно реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродеароматизации.

8. Способ по любому из пп.1-4, в котором сырьевое углеводородное масло представляет собой авиационный керосин, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до 2,5-4 МПа;

предпочтительно реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидроизомеризации.

9. Способ по любому из пп.1-4, в котором сырьевое углеводородное масло представляет собой парафиновое масло, и давление продукта реакции газофазного десульфирования на стадии (2) повышают до 5-10 МПа;

предпочтительно реакцию жидкофазного гидрирования проводят в присутствии второго катализатора гидрирования, и второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор изомеризации и гидродепарафинизации;

предпочтительно способ дополнительно включает: выпуск газофазного компонента потока материала под давлением вверх из жидкофазного реактора гидрирования, возможно подвергаемого обработке для удаления примесей с получением гидрированного легкого компонента, затем смешивание гидрированного легкого компонента и жидкофазного продукта реакции гидрирования для проведения реакции гидродеароматизации.

10. Способ по любому из пп.1-9, в котором давление жидкофазной реакции гидрирования выше давления газофазного гидродесульфирования по меньшей мере на 1 МПа, предпочтительно на 1,5-7 МПа и более предпочтительно на 2,5-6 МПа.

11. Способ по любому из пп.1-10, в котором реактор жидкофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем, предпочтительно реактор с неподвижным слоем, снабженный зоной разделения газа и жидкости;

предпочтительно условия реакции жидкофазного гидрирования включают: давление в диапазоне 2-8 МПа, более предпочтительно в диапазоне 3-6 МПа; температуру

в диапазоне 200-400°C, более предпочтительно 260-360°C, и объемную скорость в диапазоне 0,1-3 ч⁻¹, более предпочтительно 0,5-1 ч⁻¹.

12. Способ по любому из пп.1-11, в котором газофазный компонент потока материала под давлением выгружают сверху из реактора жидкофазного гидрирования, возможно подвергая обработке по удалению примесей с получением гидрированного легкого компонента;

предпочтительно обработка для удаления примесей включает обработку для удаления сероводорода, более предпочтительно включает: проведение теплообмена газофазного компонента и затем разделение под высоким давлением с получением гидрированного легкого компонента и водородсодержащего сероводорода;

предпочтительно при теплообмене газофазный компонент охлаждают до диапазона температур 100-200°C, более предпочтительно до диапазона температур 120-150°C.

13. Способ по п.12, дополнительно включающий: смешивание жидкофазного продукта реакции гидрирования и гидрированного легкого компонента с получением продукта гидрирования;

предпочтительно продукт гидрирования представляет собой очищенный дизельный продукт, при этом очищенный дизельный продукт имеет содержание полициклических ароматических углеводородов менее 5 масс.% и содержание S менее 10 мкг/г;

предпочтительно продукт гидрирования представляет собой очищенный авиационный керосин, при этом очищенный авиационный керосин имеет максимальную высоту некопящего пламени более 26 мм и/или температуру замерзания ниже -50°C;

предпочтительно продукт гидрирования представляет собой специальный нефтепродукт, при этом специальный нефтепродукт имеет содержание ароматических углеводородов менее 5 масс.% и содержание S менее 10 мкг/г.

14. Система гидрирования углеводородного масла, включающая реактор газофазного гидрирования, устройство для повышения давления и реактор жидкофазного гидрирования, соединенные последовательно, при этом реактор газофазного гидрирования заполнен первым катализатором гидрирования, а реактор жидкофазного гидрирования заполнен вторым катализатором гидрирования;

реактор газофазного гидрирования используют для проведения реакции газофазного десульфирования сырьевого углеводородного масла и газообразного водорода с получением продукта реакции газофазного десульфирования;

устройство для повышения давления используют для повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования с получением потока материала под давлением;

реактор жидкофазного гидрирования используют для обеспечения контакта потока материала под давлением со вторым катализатором гидрирования для проведения реакции жидкофазного гидрирования с получением продукта реакции жидкофазного гидрирования.

15. Система гидрирования по п.14, в которой устройство для повышения давления используют для повышения давления продукта реакции газофазного десульфирования до давления в диапазоне 2-10 МПа.

16. Система гидрирования по п.14 или п.15, в которой сырьевое углеводородное масло представляет собой дизельное топливо, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродеароматизации, или

сырьевое углеводородное масло представляет собой дизельное топливо, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор глубокого гидродесульфирования, или

сырьевое углеводородное масло представляет собой авиационный керосин, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродеароматизации, или

сырьевое углеводородное масло представляет собой авиационный керосин, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидроизомеризации, или

сырьевое углеводородное масло представляет собой парафиновое масло, первый катализатор гидрирования представляет собой катализатор гидродесульфирования, а

второй катализатор гидрирования представляет собой катализатор изомеризации и гидродепарафинизации.

17. Система гидрирования по любому из пп.14-16, в которой реактор газофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем, реактор жидкофазного гидрирования представляет собой реактор с неподвижным слоем, предпочтительно реактор с неподвижным слоем, снабженный зоной разделения газа и жидкости.

18. Система гидрирования по любому из пп.14-17, дополнительно включающая устройство для удаления примесей, при этом вход устройства для удаления примесей сообщается с выходом для газофазного компонента реактора жидкофазного гидрирования для осуществления обработки по удалению примесей газофазного компонента в потоке материала под давлением, выпускаемого из реактора жидкофазного гидрирования, с получением гидрированного легкого компонента;

предпочтительно устройство для удаления примесей представляет собой устройство для удаления сероводорода;

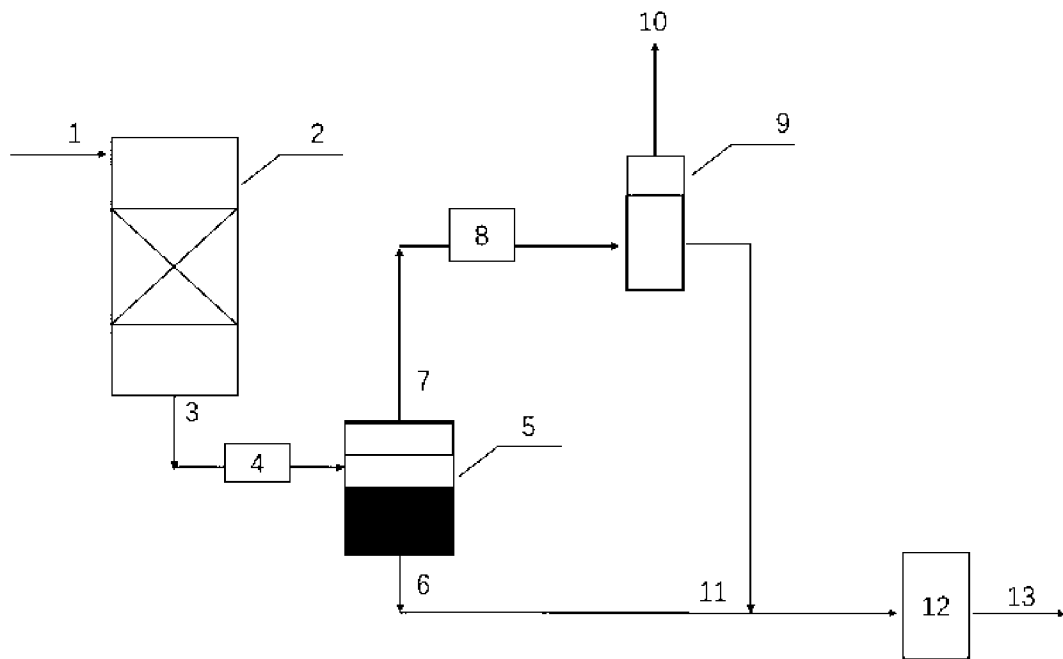
предпочтительно устройство для удаления сероводорода содержит теплообменник и разделительное устройство высокого давления, которые сообщаются между собой.

19. Система гидрирования по п.18, дополнительно включающая смесительное устройство для приема и смешивания жидкофазного продукта реакции гидрирования и гидрированного легкого компонента с получением продукта гидрирования.

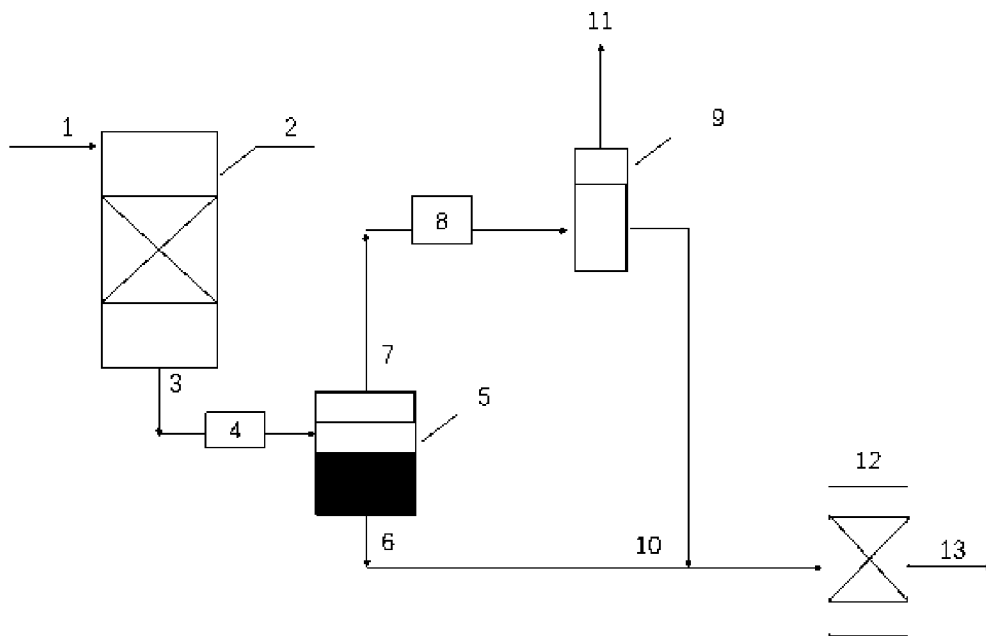
20. Система гидрирования по п.18, в которой сырьевое углеводородное масло представляет собой парафиновое масло, система дополнительно содержит третий реактор гидрирования, заполненный третьим катализатором гидрирования, вход третьего реактора гидрирования сообщается с выходом для жидкофазного продукта реакции гидрирования третьего реактора гидрирования и выходом для гидрированного легкого компонента устройства удаления примесей, так что гидрированный легкий компонент и продукт реакции жидкофазного гидрирования подвергаются реакции деароматизации гидрированием.

Способ гидрирования и система гидрирования углеводородного масла

1/1



ФИГ. 1



ФИГ. 2