

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037049**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.01.29

(51) Int. Cl. **C10G 65/02** (2006.01)
C10G 47/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
201590314

(22) Дата подачи заявки
2013.07.15

(54) **ГИДРОКРЕКИНГ ОСТАТКА**

(31) **13/566,682**

(32) **2012.08.03**

(33) **US**

(43) **2015.06.30**

(86) **PCT/US2013/050487**

(87) **WO 2014/022082 2014.02.06**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЛАММУС ТЕКНОЛОДЖИ ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
**Мукерджи Уджал К., Балдассари
Марио С. (US)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) **US-B1-6447671**
US-A1-20100025293
US-A1-20110017641
US-A1-20110174691
US-A-4525267

(57) Раскрыт процесс для облагораживания остаточных углеводородов и понижения тенденции полученных в результате продуктов к образованию асфальтенового осадка в процессах последующей обработки. Процесс может включать стадии, на которых осуществляют контактирование остаточной углеводородной фракции и водорода с катализатором гидроконверсии в зоне реакции гидрокрекинга для преобразования по меньшей мере части остаточной углеводородной фракции в более легкие углеводороды; извлекают эфлюент из зоны реакции гидрокрекинга; осуществляют контактирование водорода и по меньшей мере части эфлюента с катализатором гидроочистки остатка и разделяют эфлюент для извлечения двух или более углеводородных фракций.

B1

037049

037049

B1

Область техники, к которой относится раскрытие

Настоящее изобретение относится к процессам для гидрокрекинга остатка и других тяжелых углеводородных фракций. Более характерно, изобретение относится к процессам для крекинга остатка и других тяжелых углеводородных фракций, в то же время одновременно к понижению образования асфальтенового осадка после систем реактора с кипящим слоем и улучшения качества продуктов конверсии.

Уровень техники

Попытки решить проблемы отложения осадка в оборудовании после реакторов с кипящим слоем, как, например, сепараторы, теплообменники, нагреватели и оборудование для ректификации, сводились к использованию различных химических и механических средств. Однако отложение осадка остается сложной проблемой. Осаждение асфальтенового материала ("осадка") является важным вопросом в большинстве, если не всех, установок для глубокого гидрокрекинга остатка, особенно тех, которые используют гидрокрекинг в кипящем слое, и часто ограничивает степень конверсии и понижает фактор непрерывной работы многих установок. Дополнительно продукты из гидрокрекинга в кипящем слое являются обычно более низкого качества, так как значительная часть конверсии происходит, как результат термического крекинга, и вклад каталитической гидроконверсии, которая улучшает качество продукта, является довольно ограниченным.

Сущность заявленных вариантов осуществления

Настоящее изобретение, раскрытое здесь, относится к процессу для облагораживания остаточных углеводородов и понижения тенденции полученных в результате продуктов к образованию асфальтенового осадка в процессах последующей обработки.

Процесс включает стадии, на которых

а) нагревают остаточную углеводородную фракцию в первом нагревателе и поток водорода во втором нагревателе;

б) осуществляют контактирование нагретой остаточной углеводородной фракции и нагретого водорода с первым катализатором гидроконверсии в первой зоне гидрокрекинга, содержащей один или более реакторов с кипящим слоем, для преобразования по меньшей мере части остаточной углеводородной фракции в более легкие углеводороды и извлечения первого эфлюента, подвергнутого гидрокрекингу, где катализатор гидроконверсии содержит пористую огнеупорную основу, выполненную из оксида алюминия, оксида кремния, фосфора или их сочетаний;

в) резко охлаждают первый подвергнутый гидрокрекингу эфлюент по меньшей мере одним из ароматического растворителя и содержащего водород газового потока;

г) осуществляют контактирование резко охлажденного первого подвергнутого гидрокрекингу эфлюента с водородом в первом реакторе с восходящим потоком, содержащим первый сферический катализатор гидроочистки остатка для образования первого подвергнутого гидроочистке продукта;

д) подают первый подвергнутый гидроочистке продукт в первый реактор/отпарную колонну для одновременного

разделения упомянутого первого подвергнутого гидроочистке продукта для извлечения двух или более углеводородных фракций, содержащих, по меньшей мере, тяжелую углеводородную фракцию и легкую углеводородную фракцию;

контактирования водорода и тяжелой углеводородной фракции со вторым катализатором гидроочистки остатка, содержащимся в нижней части реактора/отпарной колонны;

контактирования водорода и легкой углеводородной фракции с первым катализатором гидроочистки дистиллята, содержащимся в верхней части реактора/отпарной колонны; и

извлечения первой паровой фракции верхнего погона, содержащей дистиллятные углеводороды, и первой донной жидкой фракции;

е) осуществляют контактирование водорода и первой донной жидкой фракции со вторым катализатором гидроконверсии, который является тем же самым или отличным от первого катализатора гидроконверсии, во второй зоне реакции гидрокрекинга для преобразования по меньшей мере части первой донной жидкой фракции в более легкие углеводороды и извлечения второго подвергнутого гидрокрекингу эфлюента;

ж) резко охлаждают второй подвергнутый гидрокрекингу эфлюент по меньшей мере одним из ароматического растворителя и содержащего водород газового потока, где ароматический растворитель и содержащий водород газовый поток являются теми же самыми или отличными от ароматического растворителя и содержащего водород газового потока со стадии с);

з) осуществляют контактирование водорода и резко охлажденного второго подвергнутого гидрокрекингу эфлюента во втором реакторе с восходящим потоком, содержащим третий сферический катализатор гидроочистки остатка, пригодный для гидроочистки подвергнутого гидрокрекингу эфлюента, для образования второго подвергнутого гидроочистке продукта;

и) подают упомянутый второй подвергнутый гидроочистке продукт во второй реактор/отпарную колонну для одновременного

разделения упомянутого второго подвергнутого гидроочистке продукта для извлечения двух или более углеводородных фракций, содержащих, по меньшей мере, вторую тяжелую углеводородную фрак-

цию и вторую легкую углеводородную фракцию;

контактирования водорода и второй тяжелой углеводородной фракции с четвертым катализатором гидроочистки остатка, содержащимся в нижней части второго реактора/отпарной колонны;

контактирования водорода и второй легкой углеводородной фракции со вторым катализатором гидроочистки дистиллята, содержащимся в верхней части реактора/отпарной колонны; и

извлечения второй паровой фракции верхнего погона, содержащей дистиллятные углеводороды, и второй донной жидкой фракции;

ж) объединяют первую паровую фракцию верхнего погона и вторую паровую фракцию верхнего погона с образованием парового продукта;

к) подают вторую донную жидкую фракцию в сосуд для мгновенного испарения с получением третьей паровой фракции верхнего погона и третьей тяжелой углеводородной фракции.

Другие аспекты и преимущества будут очевидны из следующего описания и прилагаемых пунктов формулы изобретения.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой упрощенную технологическую схему процесса для облагораживания остаточного углеводородного сырья в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь;

фиг. 2А - упрощенную технологическую схему процесса для облагораживания остаточного углеводородного сырья в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь;

фиг. 2В - упрощенную технологическую схему процесса для облагораживания остаточного углеводородного сырья в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь;

фиг. 3 - упрощенную технологическую схему процесса для облагораживания остаточного углеводородного сырья в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь;

фиг. 4 - упрощенную технологическую схему процесса для облагораживания остаточного углеводородного сырья в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь;

фиг. 5 - упрощенную технологическую схему процесса для облагораживания остаточного углеводородного сырья в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь;

фиг. 6 - упрощенную технологическую схему процесса для облагораживания остаточного углеводородного сырья в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь.

Подробное описание

В одном аспекте варианты осуществления здесь относятся в основном к процессам гидроконверсии, включая процессы для гидрокрекинга остатка и других тяжелых углеводородных фракций. Более конкретно, варианты осуществления, раскрытые здесь, относятся к процессам гидроконверсии для обработки остатка и других тяжелых углеводородных фракций и в то же время относятся к одновременному понижению образования асфальтенового осадка после систем реактора с кипящим слоем и улучшения качества продуктов конверсии.

Процессы гидроконверсии, раскрытые здесь, могут быть использованы для реагирования остаточного углеводородного сырья при условиях повышенных температур и давлений в присутствии водорода и одного или более катализаторов гидроконверсии, чтобы преобразовать сырье в продукты с более низким молекулярным весом с пониженными уровнями загрязняющих примесей (как, например, сера и/или азот). Процессы гидроконверсии могут включать, например, гидрирование, десульфуризацию, деазотирование, крекинг, конверсию и удаление металлов, кокса по Конрадсону или асфальтенов и т.п.

Как использовано здесь, остаточные углеводородные фракции определены, как углеводородная фракция, имеющая точки кипения или диапазон кипения выше около 343°C, но могут также включать всю обработку тяжелой сырьевой нефти. Остаточное углеводородное сырье, которое может быть использовано с процессами, раскрытыми здесь, может включать различные нефтяные и другие углеводородные потоки, как, например, нефтяной атмосферный или вакуумный остаток, деасфальтированное масло, деасфальтированный пек, подвергнутый гидрокрекингу остаток со дна атмосферной колонны или вакуумной колонны гидрокрекинга, прямогонный вакуумный газойль, подвергнутый гидрокрекингу вакуумный газойль, подвергнутые флюид-каталитическому крекингу (FCC) суспензии в нефтепродукте, вакуумный газойль из процесса с кипящим слоем, а также другие подобные углеводородные потоки или сочетания таких, каждый из которых может быть прямогонным, получаемым в процессе технологического цикла, подвергнутым гидрокрекингу, частично десульфурированным и/или потоками с низким содержанием металла.

Сошлемся теперь на фиг. 1, остаточная углеводородная фракция (остаток) 2 нагревается и смешивается с богатым водородом обрабатывающим газом 4 и подается на ступень 6 гидрокрекинга. Ступень 6 гидрокрекинга может включать один реактор 7 с кипящим слоем, как иллюстрировано, или может включать многочисленные реакторы, расположенные параллельно и/или последовательно. В реакторе(ах) 7 с кипящим слоем остаточная углеводородная фракция может быть подвергнута гидрокрекингу при парциальном давлении водорода от 70 до 170 бар абсолютного давления, температурах от 380 до 450°C и LHSV (часовой объемной скорости жидкости) от 0,15 до 2,0 ч⁻¹ в присутствии катализатора гидроконверсии.

Внутри реактора 7 с кипящим слоем катализатор подвергается обратному перемешиванию и поддерживается в беспорядочном движении посредством рециркуляции жидкого продукта. Это выполняется первоначальным отделением рециркулирующего масла от газообразных продуктов. Масло затем рециркулирует посредством внешнего насоса или насоса, имеющего крыльчатку, смонтированного в глухом днище реактора.

Установленная конверсия остатка на первой ступени гидрокрекинга может типично быть в диапазоне от 30 до 75 мас.%, в зависимости от сырья, подлежащего обработке. Однако конверсия должна быть поддержана ниже уровня, где образование осадка становится избыточным. Вдобавок к превращению остатка ожидается, что удаление серы будет в диапазоне от около 40 до около 80%, удаление металлов будет в диапазоне от 40 до 85% и удаление кокса по Конрадсону (CCR) будет в диапазоне от около 40 до около 65% на первой ступени 6 гидрокрекинга.

Жидкий и паровой эфлюент из первой ступени 6 гидрокрекинга может быть извлечен через нагнетательный трубопровод 8 и подвергнут резкому охлаждению ароматическим растворителем 10 и/или содержащим водород газовым потоком 12. Ароматический растворитель 10 может включать в себя любую ароматический растворитель, как, например, суспензия в нефтепродукте из процесса флюид-каталитического крекинга (FCC) или кислый вакуумный остаток, среди других.

Подвергнутый резкому охлаждению эфлюент 14 затем подается в противоточный реактор/отпарную колонну 15, загруженную катализатором(ами) гидропереработки (гидроочистки). Тяжелая жидкость из эфлюента реактора первой ступени перемещается вниз внутри реактора/отпарной колонны 15, проходит через нижнюю каталитическую зону В, содержащую катализатор гидроочистки остатка, и входит в контакт с водородом, подаваемым через нагнетательный трубопровод 16, перемещающимся противоточным образом вверх реактора/отпарной колонны. Дополнительные гидродеметаллизация (HDM), гидродесульфуризация (HDS), понижение кокса по Конрадсону (HDCCR), гидродеароматизация (HDA) и другие реакции происходят в каталитической зоне В, приводя в результате к донной фракции 18, более пригодной для последующей обработки. Каталитическая зона В может включать слой насадки катализатора, пропитанную упорядоченную насадку и другие формы, типичные для содержания катализатора внутри системы реактора с каталитической дистилляцией.

Легкие дистилляты в паровой фазе, входящие в реактор/отпарную колонну 15, перемещаются вверх внутри реактора отпарной колонны 15, проходя через верхнюю каталитическую зону А, контактируя с водородом, перемещающимся прямоточным образом вверх реактора отпарной колонны. Катализатор в каталитической зоне А может включать в себя катализатор гидроочистки дистиллята и может обеспечить постепенно возрастающую HDS, HDN и HAD производительность, дополнительно улучшая качество извлеченных легких дистиллятов. Паровая фракция, жидкие дистилляты и непрореагировавший водород могут быть извлечены из реактора/отпарной колонны 15 через нагнетательный трубопровод 20 и направлены через систему газового охлаждения, очистки и сжатия рециркулирующего газа (не показана). Альтернативно, паровая фракция 20 может быть сперва обработана посредством объединенной системы реактора гидропереработки (не показана) одна или в сочетании с внешними дистиллятами и/или дистиллятами, выработанными в процессе гидрокрекинга, и с этого времени направлена в систему газового охлаждения, очистки и сжатия (не показана).

Донные фракции 18, извлеченные из реактора/отпарной колонны 15, могут затем быть мгновенно испарены в сосуде 22 для мгновенного испарения, где давление текучей среды может быть понижено через регулировочный клапан 24, например, перед входом в сосуд для мгновенного испарения. Это мгновенное испарение приводит в результате к паровой фракции 26, которая может быть направлена в систему атмосферной перегонки после охлаждения вместе с другими дистиллятными продуктами, извлеченными из системы газового охлаждения и очистки. Жидкая фракция 28 может быть дополнительно отпарена, чтобы извлечь дополнительные атмосферные дистилляты, производя отпаренный тяжелый непреобразованный нефтяной продукт, подобный донному продукту атмосферной колонны, имеющий точку кипения в диапазоне от около 343 до около 427°C, который может затем быть отправлен в систему вакуумной перегонки, чтобы извлечь вакуумные дистилляты.

Сошлемся теперь на фиг. 2А и 2В, где одинаковые числа обозначают одинаковые части, как альтернативу реактору/отпарной колонне 15, жидкий и паровой эфлюент 8 из первой ступени 6 гидрокрекинга может быть резко охлажден, используя ароматический растворитель и/или водород, и подан в реактор с восходящим потоком или реактор OCR (с оперативной заменой катализатора) 30, имеющий каталитическую зону С, содержащую катализатор гидропереработки остатка, обеспечивающий дополнительные HDM, HDS, HDCCR и HDA, среди других реакций, улучшающий качество эфлюента. По сравнению с реактором с восходящим потоком реактор OCR позволяет добавлять катализатор и извлекать в процессе эксплуатации образом, подобным тому, что регулярно практикуется в реакторах гидрокрекинга с кипящим слоем. В этом отношении, объем реактора может быть уменьшен, и постоянное качество продукта может быть поддержано в течение работы без необходимости остановки установки с целью замены запаса катализатора.

В некоторых вариантах осуществления, как, например, иллюстрировано на фиг. 2А, вытекающий поток из реактора 30 с восходящим потоком может быть подан через нагнетательный трубопровод 32 в

сепаратор 34 пар/жидкость, который может необязательно содержать зону 36 насадки, где он контактирует с богатым водородом газом 37. Жидкие дистилляты могут быть извлечены из сепаратора 34 пар/жидкость через нагнетательный трубопровод 38 и направлены через систему газового охлаждения, очистки и сжатия рециркулирующего газа (не показана), как описано выше. Альтернативно, паровая фракция 38 может быть сначала обработана посредством интегрированной системы реактора гидропереработки (не показана), одна или в сочетании с внешними дистиллятами и/или дистиллятами, выработанными в процессе гидрокрекинга, и с этого времени направлена в систему газового охлаждения, очистки и сжатия (не показана). Тяжелые дистилляты могут быть извлечены из сепаратора 34 пар-жидкость через нагнетательный трубопровод 40 и обработаны, как описано выше по отношению к сосуду 22 для мгновенного испарения по фиг. 1.

В других вариантах осуществления, как, например, иллюстрировано на фиг. 2В, вытекающий поток из реактора 30 с восходящим потоком или OCR может быть подан через нагнетательный трубопровод 42 к реактору/отпарной колонне 15, включающей верхнюю каталитическую зону А и нижнюю каталитическую зону В, как описано выше по отношению к фиг. 1.

Как отмечено выше, системы гидропереработки в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь, могут включать одну или более ступеней гидрокрекинга. Обратимся теперь к фиг. 3, здесь иллюстрирован один вариант осуществления процесса гидропереработки в соответствии с вариантами осуществления, включающий промежуточный сепаратор пар/жидкость и реактор/отпарную колонну, следующий за последней ступенью гидрокрекинга.

Остаточная углеводородная фракция (остаток) 52 нагревается и смешивается с богатым водородом обрабатываемым газом 54 и подается к ступени 56 гидрокрекинга. Ступень 56 гидрокрекинга может включать один реактор 57 с кипящим слоем, как иллюстрировано, или может включать многочисленные реакторы, расположенные параллельно и/или последовательно. В реакторе(ах) с кипящим слоем остаточная углеводородная фракция может быть подвергнута гидрокрекингу при парциальных давлениях водорода от 70 до 170 бар абсолютного давления, температурах от 380 до 450°C и LHSV от 0,25 до 2,0 ч⁻¹ в присутствии катализатора гидроконверсии.

Внутри реактора 57 с кипящим слоем катализатор подвергается обратному перемешиванию и поддерживается в беспорядочном движении посредством рециркуляции жидкого продукта. Это выполняется первоначальным отделением рециркулирующего масла от газообразных продуктов. Масло затем рециркулирует посредством внешнего насоса или насоса, имеющего крыльчатку, смонтированную в глухом днище реактора.

Установленная конверсия остатка на первой ступени гидрокрекинга может типично быть в диапазоне от около 30 до около 75 мас.%, в зависимости от сырья, подлежащего обработке. Однако конверсия должна быть поддержана ниже уровня, где образование осадка становится чрезмерным. Вдобавок к преобразованию остатка ожидается, что удаление серы будет в диапазоне от около 40 до около 75%, удаление металлов будет в диапазоне от около 40 до около 80%, и удаление кокса по Конрадсону (CCR) будет в диапазоне от около 40 до около 60% на первой ступени 56 гидрокрекинга.

Жидкий и паровой вытекающий поток из первой ступени 56 гидрокрекинга может быть извлечен через нагнетательный трубопровод 58 и подвергнут резкому охлаждению ароматическим растворителем 60 или богатым водородом газом 62. Ароматический растворитель 60 может включать любой ароматический растворитель, как, например, суспензия в нефтепродукте из процесса флюид-каталитического крекинга (FCC) или кислый вакуумный остаток, среди других.

Подвергнутый резкому охлаждению вытекающий поток 64 затем подается в промежуточный сепаратор 66 пар/жидкость, который может необязательно содержать секцию 68 насадки, где промежуточная тяжелая непреобразованная жидкость дополнительно контактирует с богатым водородом газом 73. Тяжелая жидкость из вытекающего потока первой ступени гидрокрекинга может быть извлечена, как донная фракция 70 из сепаратора 66 пар/жидкость, объединена с водородом 71 и подана на вторую ступень 72 гидрокрекинга, которая может включать один или более реакторов 74 с кипящим слоем, где системы с многочисленными реакторами могут располагаться параллельно и/или последовательно. Реакторы 74 с кипящим слоем могут работать подобным образом, как описано выше, обеспечивая постепенно возрастающую конверсию тяжелых углеводородов в вакуумные газойли и другие легкие продукты.

Установленная конверсия остатка, выходящего из второй стадии гидрокрекинга, может типично быть в диапазоне от около 50 до около 85%, в зависимости от сырья, подлежащего обработке. Однако конверсия должна поддерживаться ниже уровня, где образование осадка становится чрезмерным. Вдобавок к превращению остатка ожидается, что полное удаление серы, выходящей из второй ступени 72 гидрокрекинга, будет в диапазоне от около 60 до около 85%, удаление металлов будет в диапазоне от около 60 до около 92%, и удаление кокса по Конрадсону (CCR) будет в диапазоне от около 50 до около 75%.

Паровой продукт 76, извлеченный из сепаратора 66 пар/жидкость может быть подвергнут резкому охлаждению ароматическим растворителем или богатым водородом газом 78 и объединен с паровым и жидким вытекающим потоком 80, извлеченным из последней ступени гидрокрекинга (или последнего реактора с кипящим слоем внутри ступени гидрокрекинга). Объединенные подвергнутые резкому охлаждению продукты могут быть поданы через нагнетательный трубопровод 82 в реактор/отпарную колонну

ну 85 между верхней каталитической зоной А и нижней каталитической зоной В.

Тяжелая жидкость в объединенном подвергнутом резкому охлаждению потоке 82 перемещается вниз внутри реактора/отпарной колонны 85, проходит через нижнюю каталитическую зону В, содержащую катализатор гидроочистки остатка, и входит в контакт с водородом, подается через нагнетательный трубопровод 86, перемещаясь противоточным образом вверх реактора/отпарной колонны. Дополнительные гидродеметаллизация (HDM), гидродесульфуризация (HDS), понижение кокса по Конрадсону (HDCCR), гидродеароматизация (HDA) и другие реакции имеют место в неподвижной каталитической зоне В, приводя в результате к донной фракции 88, более пригодной для последующей обработки. Каталитическая зона В может включать в себя слой насадки катализатора, пропитанную упорядоченную насадку и другие формы, типичные для содержания катализатора внутри системы реактора каталитической дистилляции.

Легкие дистилляты в паровой фазе, входящие в реактор/отпарную колонну 85, перемещаются вверх внутри реактора отпарной колонны 85, проходя через верхнюю каталитическую зону А, контактируя с водородом, перемещающимся прямоточным образом вверх реактора отпарной колонны. Каталитическая зона А может включать в себя катализатор гидроочистки дистиллята и может обеспечить постепенно возрастающую производительность HDS, HDN и HDA, дополнительно улучшая качество извлеченных жидких дистиллятов. Паровая фракция, жидкие дистилляты и непрореагировавший водород могут быть извлечены из реактора/отпарной колонны 85 через нагнетательный трубопровод 90 и направлены через систему газового охлаждения, очистки и сжатия рециркулирующего газа (не показана). Альтернативно, паровая фракция 90 может быть сперва обработана посредством интегрированной системы реактора гидропереработки (не показана) одна или в сочетании с внешними дистиллятами или дистиллятами, выработанными в процессе гидрокрекинга, и с этого времени направлена в систему газового охлаждения, очистки и сжатия (не показана).

Донные фракции 88, извлеченные из реактора/отпарной колонны 85, могут затем быть подвергнуты мгновенному испарению в сосуде 92 для мгновенного испарения, где давление текучей среды может быть понижено через регулировочный клапан 94, например, перед входом в сосуд для мгновенного испарения. Это мгновенное испарение приводит в результате к паровой фракции 96, которая может быть направлена в систему атмосферной перегонки после охлаждения вместе с другими дистиллятными продуктами, извлеченными из системы охлаждения газом и очистки. Жидкая фракция 98 может быть дополнительно отпарена, чтобы извлечь дополнительные атмосферные дистилляты, производя отпаренный тяжелый непреобразованный нефтяной продукт, подобный донному продукту атмосферной колонны, имеющий точку кипения в диапазоне от около 343 до около 427°C, который может затем быть отправлен в систему вакуумной перегонки с целью извлечения вакуумных дистиллятов.

В альтернативном варианте осуществления паровой и жидкий эфлюент 80 с паровой фракцией 76 или без нее может быть обработан, используя реактор с восходящим потоком или OCR (не показан), и отделен подобно вариантам осуществления, описанным по отношению к фиг. 2А и 2В. Дополнительная конверсия и увеличенные HDA, HDM, HDCCR и HDS, достигаемые с использованием реактора с восходящим потоком (с каталитической зоной С) и/или реактора/отпарной колонны (с каталитическими зонами А и В), следующего за последней ступенью гидрокрекинга, обеспечивают значительные преимущества в отношении явного разделения объединенных эфлюентов ступени гидрокрекинга, улучшая качество полученных в результате продуктов и делая полученные в результате продукты более пригодными для последующей обработки.

Вдобавок к преимуществам, которые могут быть получены, используя системы реактора с восходящим потоком или дистилляцией, следующие за последней ступенью гидрокрекинга, дополнительные преимущества могут быть реализованы посредством использования систем реактора с восходящим потоком или дистилляцией между первой и второй (и/или между последующими) ступенями гидрокрекинга, как иллюстрировано на фиг. 4-6, где одинаковые числа обозначают одинаковые части.

Сошлемся теперь на фиг. 4, как противоположную к отделению паровых продуктов от жидких продуктов на первой ступени 56 гидрокрекинга эфлюента 58 через промежуточный сепаратор 66 пар/жидкость, эфлюент 58 первой ступени 56 гидрокрекинга может быть подан в реактор/отпарную колонну 102, содержащий верхнюю каталитическую зону А и нижнюю каталитическую зону В. Водород может быть введен в реактор/отпарную колонну 102 через нагнетательный трубопровод 104, например. Жидкий и паровой эфлюент из эфлюента 58 первой ступени гидрокрекинга может быть подвергнут резкому охлаждению, используя ароматический растворитель и/или газ 60 резкого охлаждения, и подан в противоточный реактор/отпарную колонну, содержащий катализатор(ы) гидропереработки. Тяжелая жидкость из эфлюента реактора первой ступени перемещается вниз внутри реактора/отпарной колонны 102, проходит через нижнюю каталитическую зону В, содержащую катализатор гидроочистки остатка, и входит в контакт с водородом, подаваемым через нагнетательный трубопровод 104, перемещающимся противоточным образом вверх реактора/отпарной колонны. Дополнительные гидродеметаллизация (HDM), гидродесульфуризация (HDS), понижение кокса по Конрадсону (HDCCR), гидродеароматизация (HDA) и другие реакции происходят в каталитической зоне В. Донная фракция 108 может быть извлечена из реактора/отпарной колонны 102, объединена с водородом 110 и подана на вторую ступень 72 гид-

рокрекинга для дополнительной обработки, как описано выше.

Легкие дистилляты в паровой фазе, входящие в реактор/отпарную колонну 102, перемещаются вверх внутри реактора/отпарной колонны 102, проходят через верхнюю каталитическую зону А, контактируя с водородом, перемещающимся прямоточным образом вверх реактора/отпарной колонны.

Каталитическая зона А может включать в себя катализатор гидроочистки дистиллята и может обеспечить постепенно возрастающую производительность HDS, HDN и HDA, дополнительно улучшая качество извлеченных жидких дистиллятов. Паровая фракция 112, жидкие дистилляты и непрореагировавший водород, извлеченные из реактора/отпарной колонны 102, могут быть дополнительно обработаны в реакторе/отпарной колонне 85, вместе с эффлюентом второй ступени гидрокрекинга или поданы в обычную систему газового охлаждения, очистки и обработки рециркулирующего газа, как описано выше.

Подобно, эффлюент первой ступени гидрокрекинга может быть подвергнут резкому охлаждению и подан в реактор 120 с восходящим потоком или OCR, как иллюстрировано на фиг. 5, осуществляя контактирование выходящего потока 58 гидрокрекинга с катализатором гидропереработки в каталитической зоне С, чтобы привести в результате к дополнительной конверсии HDM, HDS, HDCCR и/или HDA. Эффлюент 122 может затем быть подан в промежуточный сепаратор 66 пар/жидкость и обработан, как описано выше по отношению к соответствующим частям на фиг. 3. Эффлюент 80 второй ступени гидрокрекинга и пар, извлеченные из промежуточного сепаратора пар/жидкость, могут затем быть обработаны, как описано выше по отношению к соответствующим частям любой из фиг. 1, 2А (как иллюстрировано на фиг. 5), 2В и 3, где дополнительная обработка пара, извлеченного из сепаратора 66 пар/жидкость, если желательно, может быть выполнена посредством подачи части или всей паровой фракции 122 к последующему реактору с восходящим потоком или OCR и/или реактору/отпарной колонне.

Как дополнительная альтернатива, обработка промежуточного эффлюента, извлеченного из первой ступени гидрокрекинга, может быть выполнена, как иллюстрировано на фиг. 6. В этом варианте осуществления эффлюент первой ступени гидрокрекинга может быть резко охлажден ароматическим растворителем и/или газообразным водородом и подан в реактор 130 с восходящим потоком или OCR. Эффлюент 132 может быть подан прямо на вторую ступень 72 гидрокрекинга через нагнетательный трубопровод 134 или может быть подан через нагнетательный трубопровод 136 в реактор/отпарную колонну 138, содержащий верхнюю каталитическую зону А и нижнюю каталитическую зону В, для обработки и разделения подобно тому, что описано выше по отношению к реактору/отпарной колонне 102 (фиг. 4). Паровая фракция 140, легкие дистилляты и непрореагировавший водород, извлеченные из реактора/отпарной колонны 138, и эффлюент 80 второй ступени гидрокрекинга могут затем быть обработаны, как описано выше по отношению к любой из фиг. 1, 2А, 2В (как иллюстрировано на фиг. 6) и 3, где дополнительная обработка пара, извлеченного из сепаратора 138 пар/жидкость, если желательно, может быть выполнена посредством подачи части или всей паровой фракции 140 к последующим реактору с восходящим потоком или OCR и/или реактору/отпарной колонне.

Катализаторы гидроконверсии, которые могут быть использованы в каталитических зонах А, В и С, включают катализаторы, которые могут быть использованы для гидроочистки или гидрокрекинга углеводородного сырья. Катализатор гидроочистки, например, может включать любой состав катализатора, который может быть использован, чтобы катализировать гидрирование углеводородного сырья, чтобы повысить содержание водорода и/или удалить гетероатомные загрязнения. Катализатор гидрокрекинга, например, может включать любой состав катализатора, который может быть использован, чтобы катализировать добавку водорода к большим или сложным углеводородным молекулам, так же как крекинг молекул, чтобы получить меньшие молекулы с более низким молекулярным весом.

Составы катализатора гидроконверсии для использования в процессе гидроконверсии в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь, хорошо известны специалистам в данной области техники и часть из них имеются в продаже от W.R. Grace & Co, Criterion Catalysts & Technologies и Albemarle, среди других. Подходящие катализаторы гидроконверсии могут включать один или более элементов, выбранных из групп 4-12 Периодической таблицы элементов. В некоторых вариантах осуществления катализаторы гидроконверсии в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми здесь, могут содержать, состоять из или состоять главным образом из одного или более из никеля, кобальта, вольфрама, молибдена или их сочетаний, либо не на носителе, либо на носителе на пористой подложке, как, например, оксид кремния, оксид алюминия, оксид титана или их сочетания. Как поставленный от изготовителя или как полученный в результате процесса регенерации катализатор гидроконверсии может быть в форме оксидов металлов, например. В некоторых вариантах осуществления катализаторы гидроконверсии могут быть предварительно сульфидированными или предварительно обработаны перед введением в реактор(ы) гидрокрекинга.

Дистиллятный катализатор гидрокрекинга, который может быть пригодным в каталитической зоне А, может включать катализатор, выбранный из тех известных элементов, чтобы обеспечить активность каталитического гидрирования. По меньшей мере один металлический компонент, выбранный из элементов группы 8-10 и/или из элементов группы 6, обычно является предпочтительным. Элементы группы 6 могут включать хром, молибден и вольфрам. Элементы группы 8-10 могут включать железо, кобальт, никель, рутений, родий, палладий, осмий, иридий и платину. Количество(а) компонента(ов) гид-

рирования в подходящем диапазоне катализатора от около 0,5 до около 10 мас.% относительно массы компонента(ов) металлов группы 8-10 и от около 5 до около 25 мас.% относительно массы компонента(ов) металлов группы 6, рассчитанные как оксид(ы) металлов на 100 мас.ч. относительно общей массы катализатора, где мас.% основаны на массе катализатора перед сульфидированием. Компоненты гидрирования в катализаторе могут быть в оксидной и/или сульфидной форме. Если сочетание, по меньшей мере, компонента металла группы 6 и группы 8 присутствует, как (смешанные) оксиды, оно будет подвергнуто обработке сульфидированием перед надлежащим использованием в гидрокрекинге. В некоторых вариантах осуществления катализатор содержит один или более компонентов из никеля и/или кобальта и один или более компонентов из молибдена и/или вольфрама или один или более компонентов из платины и/или палладия. Катализаторы, содержащие никель и молибден, никель и вольфрам, платину и/или палладий, являются пригодными.

Катализатор гидроочистки остатка, который может быть пригодным в каталитической зоне В, может включать катализаторы, в основном составленные из компонента гидрирования, выбранного из элементов группы 6 (как, например, молибден и/или вольфрам) и элементов группы 8-10 (как, например, кобальт и/или никель) или их смеси, которые могут быть нанесены на носитель оксид алюминия. Оксид фосфора (группа 15) выборочно присутствует, как активный ингредиент. Типичный катализатор может содержать от 3 до 35 мас.% компонентов гидрирования со связующим оксидом алюминия. Гранулы катализатора могут находиться в диапазоне размеров от 1/32 дюйма до 1/8 дюймов и могут быть сферической, экструдированной, трехдольчатой или четырехдольчатой формы. В некоторых вариантах осуществления подача, проходящая через каталитическую зону, контактирует сперва с катализатором, заранее выбранным для удаления металлов, хотя некоторое удаление серы, азота и ароматических соединений может также происходить. Последующие слои катализатора могут быть использованы для удаления серы и азота, хотя они должны также быть предполагаемыми, чтобы катализировать удаление металлов и/или реакции крекинга. Слой(и) катализатора для деметаллизации, когда присутствуют, могут содержать катализатор(ы), имеющие средний размер пор в диапазоне от 125 до 225 Å и объем пор в диапазоне от 0,5-1,1 см³/г. Слой(и) катализатора для денитрификации/десульфуризации могут содержать катализатор(ы), имеющие средний размер пор в диапазоне от 100 до 190 Å с объемом пор 0,5-1,1 см³/г. Патент США № 4990243 описывает катализатор гидроочистки, имеющий размер пор по меньшей мере около 60 Å и предпочтительно от около 75 до около 120 Å. Катализатор деметаллизации, пригодный для настоящего процесса, описан, например, в патенте США № 4976848, все раскрытие которого включено сюда посредством ссылки для всех целей. Также катализаторы, пригодные для десульфуризации тяжелых потоков, описаны, например, в патентах США №№ 5215955 и 5177047, все раскрытия которых включены сюда посредством ссылки для всех целей. Катализаторы, пригодные для десульфуризации среднего дистиллята, потоков вакуумного газойля и потоков нефти, описаны, например, в патенте США № 4990243, все раскрытия которого включены сюда посредством ссылки для всех целей.

Катализатор гидроочистки остатка, пригодный в каталитической зоне С, может включать в себя катализаторы, содержащие пористую огнеупорную основу, составленную из оксида алюминия, оксида кремния, фосфора или их различных сочетаний. Один или более типов катализатора могут быть использованы, как катализатор С гидроочистки остатка, и где два или более катализаторов используются, катализаторы могут присутствовать в зоне реактора, как слои. Катализаторы в нижнем слое(ях) могут иметь хорошую активность деметаллизации. Катализаторы могут также иметь активность гидрирования и десульфуризации, и можно преимущественно использовать катализаторы с большими размерами пор, чтобы максимально увеличить удаление металлов. Катализаторы, имеющие эти характеристики, не являются оптимальными для удаления остатка углерода и серы. Средний размер пор для катализатора в нижнем слое или слоях будет обычно по меньшей мере 60 Å и во многих случаях будет значительно большим. Катализатор может содержать металл или сочетание металлов, как, например, никель, молибден или кобальт. Катализаторы, пригодные в нижнем слое или слоях, описаны в патентах США №№ 5071805, 5215955 и 5472928. Например, те катализаторы, что описаны в патенте США № 5472928 и имеющие по меньшей мере 20% пор в диапазоне от 130 до 170 Å, основанные на азотном способе, могут быть пригодными в нижнем каталитическом слое(ях). Катализатор, присутствующий в верхнем слое или слоях каталитической зоны, должен бы иметь большую активность гидрирования по сравнению с катализаторами в нижнем слое или слоях. Следовательно, катализаторы, пригодные в нижнем слое или слоях, могут характеризоваться меньшими размерами пор и большим удалением коксового остатка, активностью денитрификации и десульфуризации. Типично, катализаторы будут содержать металлы, как, например, никель, вольфрам и молибден, чтобы повысить активность гидрирования. Например, те катализаторы, что описаны в патенте США № 5472928 и имеющие по меньшей мере 30% пор в диапазоне от 95 до 135 Å, основанные на азотном способе, могут быть пригодными в верхних слоях катализаторов. Катализаторы могут быть формованными катализаторами или сферическими катализаторами. Вдобавок, плотные, устойчивые к истиранию катализаторы могут быть использованы в зонах неподвижного катализатора с восходящим потоком, чтобы минимизировать разрушение частиц катализатора и увлечение частиц в продукт, извлеченный из реактора.

Специалист в данной области техники распознает, что различные слои катализатора могут не быть

составлены только из одного катализатора, но могут быть составлены из смеси различных катализаторов, чтобы достичь оптимального уровня удаления металлов или коксового остатка и десульфуризации для данного слоя. Хотя некоторое гидрирование будет происходить в нижней части зоны, удаление коксового остатка, азота и серы может иметь место главным образом в верхнем слое или слоях. Очевидно, дополнительное удаление металлов также будет иметь место. Определенный катализатор или смесь катализаторов, выбранных для каждого слоя, число слоев в зоне, пропорциональный объем в слое каждого слоя и выбранные определенные условия гидроочистки будут зависеть от сырья, подлежащего обработке посредством установки, желаемого продукта, подлежащего извлечению, а также коммерческих соображений, как, например, стоимость катализатора. Все эти параметры известны специалисту, занятому в нефтеперерабатывающей промышленности, и не нуждаются в дополнительном уточнении.

Примеры

Пример 1. Первый теоретический пример описан со ссылкой на фиг. 1, иллюстрирующую эффект, который вносит добавление реактора/отпарной колонны на качества тяжелой непереработанной нефти и дистиллятных продуктов. Характерно в этом примере, ступень гидрокрекинга с кипящим слоем работает при часовой объемной скорости жидкости $0,25 \text{ ч}^{-1}$ и температуре между 425 и 432°C , преобразуя между 65 и 73% вакуумной остаточной фракции в подаче. Вдобавок приблизительно 75% серы, 80% металлов, 60% CCR и 65% асфальтенов в остаточной подаче удаляется на этой ступени гидрокрекинга.

Полученный в результате тяжелый непереработанный нефтяной продукт после резкого охлаждения затем протекает вниз через слой катализатора гидроочистки остатка, где он контактирует с водородом, протекающим вверх и в противотоке с непреобразованной нефтью, которая подвергается дополнительной реакции. В этом слое непреобразованная остаточная фракция подвергается дополнительным реакциям десульфуризации, деметаллизации и понижению кокса по Конрадсону и конверсии. Вдобавок любые остающиеся свободные радикалы, образованные, как результат термического крекинга, происходящего на предшествующей ступени гидрокрекинга, насыщаются, понижая образование прекурсора кокса и осадка, посредством этого улучшая стабильность полученного в результате непреобразованного нефтяного продукта.

В особенности рассмотрено, что слой реакции гидроочистки остатка будет работать при LHSV между 4 и 8 ч^{-1} и WABT (т.е. средневзвешенного значения температуры слоя) от 380 до 400°C с потоком газа в диапазоне между 70 и $100 \text{ Nm}^3/\text{м}^3$ подачи. Как результат оценено, что удаление серы, CCR и металлов будет повышено на от 1 до 2% . Более важно, однако, что образование осадка будет подавлено на от 15 до 20% .

Легкие дистилляты в паровой фазе, входящие в реактор/отпарную колонну вместе с более легкими дистиллятными фракциями, отпаренными от непреобразованной нефти в слое реакции гидроочистки остатка, протекают вверх через слой гидроочистки дистиллята вместе с водородом, содержащимся в выходящем потоке из ступени реакции гидрокрекинга, плюс избыточный водород, выходящий из верха слоя гидроочистки остатков. Оценено, что около 50% дистиллята, образованного на ступени реакции гидрокрекинга, будут в паровой фазе протекать к слою гидрокрекинга дистиллята. Такой дистиллят будет содержать в подавляющем большинстве материал, находящийся в диапазоне кипения нефти, между 50 и 60% материала в диапазоне кипения дизельного топлива и от около 25 до 30% фракции вакуумного газойля. В особенности рассмотрено, что слой гидроочистки дистиллята будет работать при LHSV в диапазоне от $1,6$ до $2,5 \text{ ч}^{-1}$ и WABT в диапазоне от 360 до 390°C . При этих рабочих условиях удаления HDS и HDN будут превышать 99% , производя фракцию нефти с меньше чем 1 мас.ч. на миллион частей серы и азота и чрезвычайно низкий по сере дизельный продукт с меньше чем 10 мас.ч. на миллион частей серы.

Пример 2. Второй теоретический пример описан со ссылкой на фиг. 2В, иллюстрирующую объединенный эффект, который вносит добавление реактора с восходящим потоком или OCR и последующего реактора/отпарной колонны на конверсию остатка, выходы реакции и качества тяжелой непреобразованной нефти и дистиллятных продуктов. Как в примере 1, рассмотрено, что ступень гидрокрекинга в кипящем слое работает при LHSV $0,25 \text{ ч}^{-1}$ и температуре от 425 до 432°C , преобразуя между 65 и 73% вакуумной остаточной фракции в подаче. Вдобавок, как в примере 1, приблизительно 75% серы, 80% металлов, 60% CCR и 65% асфальтенов в остаточной подаче удаляется на ступени гидрокрекинга.

В примере 2 жидкий и паровой эфлюент из ступени реакции гидрокрекинга после резкого охлаждения дополнительно обрабатывается в реакторе с восходящим потоком, содержащем катализатор гидропереработки остатка, посредством этого обеспечивая удаление для дополнительной серы, металлов, CCR и асфальтенов. Рассмотрено, что реактор с восходящим потоком будет работать при LHSV от $1,0$ до $2,0 \text{ ч}^{-1}$ и температуре между 380 и 400°C . При этих условиях конверсия вакуумного остатка будет повышена на дополнительные от 1 до 2% . Вдобавок к повышенной конверсии остатка удаления HDS будут повышены от $3,5$ до $5,5\%$, удаления CCR и асфальтенов будут повышены от 4 до 7% , и удаления металлов будут повышены от 5 до 7% . Как результат повышенной конверсии CCR и асфальтенов и замедления образования предшественника кокса, содержание осадка в непреобразованной нефти ожидается понизить на не меньше чем 50% , значительно улучшая стабильность непреобразованного нефтяного продукта.

Как в примере 1, полученные в результате тяжелая непреобразованная нефть и жидкие дистилляты

подвергаются дальнейшей обработке в реакторе/отпарной колонне при аналогичных условиях и с аналогичными улучшениями качества продукта, как описанные предварительно. Суммируя, таким образом, как результат добавления реактора с восходящим потоком и OCR, конверсия и удаление и качество продукта реактора/отпарной колонны предполагаются повышенными, как определено в таблице ниже.

Параметр	Степень гидрокрекинга остатка с кипящим слоем	Реактор с восходящим потоком/OCR + реактор/отпарная колонна
LHSV, ч ⁻¹		
Степень гидрокрекинга EB	0,25	
Реактор восходящим потоком/OCR	с	1,0-2,0
Реактор/отпарная колонна		
Нижний слой		4-8
Верхний слой		1,6-2,5
Температура, °C		
Степень гидрокрекинга EB	425-432	
Реактор восходящим потоком/OCR	с	380-400
Реактор/отпарная колонна		
Нижний слой		380-400
Верхний слой		360-390
Удаление HDS, масс. %	75	79,5-82,5
Удаление CCR, масс. %	60	65-69
HDM, масс. %	80	85-87
Удаление асфальтенов, масс. %	65	70-74

Осадки тяжелого непереработанного масла (SHFT), масс. %	X	<0, 5X
Продукт нефти		
Азот, масс. частей на миллион		<1
Сера, масс. частей на миллион		<1
Сера в дизельном продукте, масс. частей на миллион		<10

Как описано выше, использование реактора/отпарной колонны и/или реактора с восходящим потоком может обеспечить повышенную степень конверсии, HDS, HDA, HDM и HDCCR. Это может улучшить качество углеводородного продукта и снизить тенденцию продукта к образованию асфальтенового осадка в последующем оборудовании.

Хотя процессы, описанные выше, включают одну или две ступени гидрокрекинга, варианты осуществления, включающие более чем две ступени, предусмотрены. Дополнительно варианты осуществления, раскрытые здесь, иллюстрируют многоступенчатую обработку подач остатка с использованием промежуточного разделения пар-жидкость (через сепаратор пар/жидкость или реактор/отпарную колонну) или без него. В то время как повышенная конверсия и улучшенное качество продукта могут быть реализованы, используя эти промежуточные стадии, дополнительные конверсия, HDS, HDA, HDM и HDCCR, реализованные, используя реактор с восходящим потоком и/или реактор/отпарную колонну, следующие за последней ступенью гидрокрекинга, могут достаточно понизить тенденцию асфальтенового осаждения в последующем оборудовании.

Преимущественно варианты осуществления, раскрытые здесь, объединяют технологии гидропереработки с неподвижным слоем и кипящим слоем, используя различные каталитические системы для ступеней реакции с неподвижным слоем и кипящим слоем, чтобы производить продукт лучшего качества из гидрокрекинга остатка. Дополнительная обработка на промежуточной ступени и/или заключительной ступени, используя реактор с восходящим потоком и/или реактор/отпарную колонну, может расширить пределы конверсии остатка, типично от 55 до 75%, вплоть до около 90% или более. Дополнительно такая обработка может позволить первой ступени гидрокрекинга с кипящим слоем (и дополнительными ступенями) работать при высокой температуре и высокой объемной скорости. Такая обработка может одновременно (или последовательно) отпаривать жидкий продукт реактора с кипящим слоем, в то же время дополнительно стабилизируя продукт посредством дополнительной конверсии асфальтенов. Дополнительно такая обработка может понизить экономическое вложение в установку посредством объединения гидропереработки с кипящим и неподвижным слоем в общий контур газового охлаждения, очистки и сжатия. Улучшенные продукты и пониженное осаждение могут обеспечить уменьшение периодичности очистки (низкие стоимости работы и удлиненные длины пробега).

Процессы, раскрытые здесь, могут дополнительно быть легко интегрированы в существующие проекты. Например, промежуточный или заключительный сепаратор пар-жидкость может быть превращен в реактор/отпарную колонну через модификацию внутренних компонентов сосуда. Как другой пример, реактор с восходящим потоком может быть легко вставлен между ступенью гидрокрекинга с кипящим слоем и промежуточным или заключительным сепаратором пар-жидкость.

В то время как раскрытие включает ограниченное число вариантов осуществления, специалисты в данной области техники, имеющие выгоду от этого раскрытия, будут оценивать, что могут быть изобретены другие варианты осуществления, которые не выходят из объема настоящего раскрытия. Соответственно, объем должен быть ограничен только прилагаемыми пунктами формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ для облагораживания остаточных углеводородов и понижения тенденции полученных в результате продуктов к образованию асфальтенового осадка в процессах последующей обработки, причем процесс включает стадии, на которых

а) нагревают остаточную углеводородную фракцию в первом нагревателе и поток водорода во втором нагревателе;

б) осуществляют контактирование нагретой остаточной углеводородной фракции и нагретого водорода с первым катализатором гидроконверсии в первой зоне гидрокрекинга, содержащей один или более

реакторов с кипящим слоем, для преобразования по меньшей мере части остаточной углеводородной фракции в более легкие углеводороды и извлечения первого эффлюента, подвергнутого гидрокрекингу, где катализатор гидроконверсии содержит пористую огнеупорную основу, выполненную из оксида алюминия, оксида кремния, фосфора или их сочетаний;

с) резко охлаждают первый подвергнутый гидрокрекингу эффлюент по меньшей мере одним из ароматического растворителя и содержащего водород газового потока;

d) осуществляют контактирование резко охлажденного первого подвергнутого гидрокрекингу эффлюента с водородом в первом реакторе с восходящим потоком, содержащим первый сферический катализатор гидроочистки остатка для образования первого подвергнутого гидроочистке продукта;

e) подают первый подвергнутый гидроочистке продукт в первый реактор/отпарную колонну для одновременного

разделения упомянутого первого подвергнутого гидроочистке продукта для извлечения двух или более углеводородных фракций, содержащих, по меньшей мере, тяжелую углеводородную фракцию и легкую углеводородную фракцию;

контактирования водорода и тяжелой углеводородной фракции со вторым катализатором гидроочистки остатка, содержащимся в нижней части реактора/отпарной колонны;

контактирования водорода и легкой углеводородной фракции с первым катализатором гидроочистки дистиллята, содержащимся в верхней части реактора/отпарной колонны; и

извлечения первой паровой фракции верхнего погона, содержащей дистиллятные углеводороды, и первой донной жидкой фракции;

f) осуществляют контактирование водорода и первой донной жидкой фракции со вторым катализатором гидроконверсии, который является тем же самым или отличным от первого катализатора гидроконверсии, во второй зоне реакции гидрокрекинга для преобразования по меньшей мере части первой донной жидкой фракции в более легкие углеводороды и извлечения второго подвергнутого гидрокрекингу эффлюента;

g) резко охлаждают второй подвергнутый гидрокрекингу эффлюент по меньшей мере одним из ароматического растворителя и содержащего водород газового потока, где ароматический растворитель и содержащий водород газовый поток являются теми же самыми или отличными от ароматического растворителя и содержащего водород газового потока со стадии с);

h) осуществляют контактирование водорода и резко охлажденного второго подвергнутого гидрокрекингу эффлюента во втором реакторе с восходящим потоком, содержащим третий сферический катализатор гидроочистки остатка, пригодный для гидроочистки подвергнутого гидрокрекингу эффлюента, для образования второго подвергнутого гидроочистке продукта;

i) подают упомянутый второй подвергнутый гидроочистке продукт во второй реактор/отпарную колонну для одновременного

разделения упомянутого второго подвергнутого гидроочистке продукта для извлечения двух или более углеводородных фракций, содержащих, по меньшей мере, вторую тяжелую углеводородную фракцию и вторую легкую углеводородную фракцию;

контактирования водорода и второй тяжелой углеводородной фракции с четвертым катализатором гидроочистки остатка, содержащимся в нижней части второго реактора/отпарной колонны;

контактирования водорода и второй легкой углеводородной фракции со вторым катализатором гидроочистки дистиллята, содержащимся в верхней части реактора/отпарной колонны; и

извлечения второй паровой фракции верхнего погона, содержащей дистиллятные углеводороды, и второй донной жидкой фракции;

j) объединяют первую паровую фракцию верхнего погона и вторую паровую фракцию верхнего погона с образованием парового продукта;

k) подают вторую донную жидкую фракцию в сосуд для мгновенного испарения с получением третьей паровой фракции верхнего погона и третьей тяжелой углеводородной фракции.

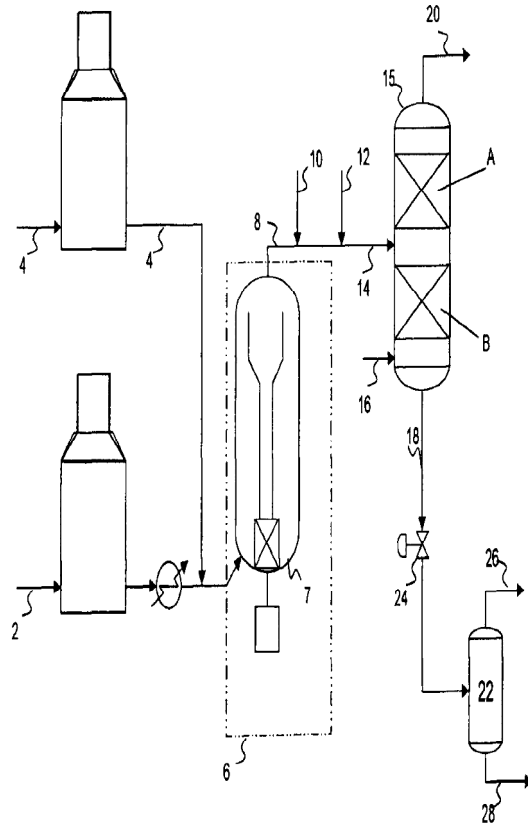
2. Способ по п.1, в котором второй катализатор гидроочистки остатка, содержащийся в нижней части реактора/отпарной колонны, содержит один или более катализаторов денитрификации или десульфуризации.

3. Способ по п.1, в котором первый катализатор гидроочистки остатка, содержащийся в реакторе с восходящим потоком, представляет собой катализатор деметаллизации.

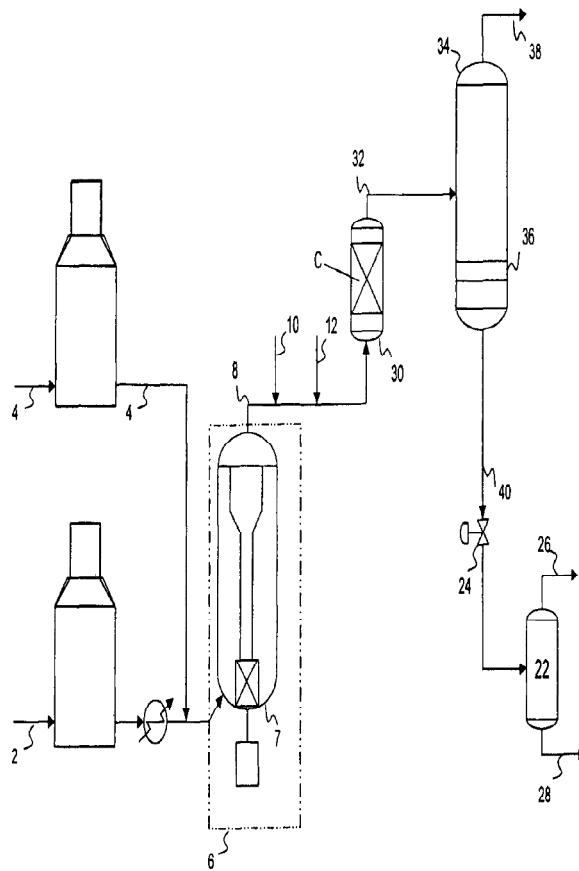
4. Способ по п.2, в котором первая и вторая зоны реакции гидрокрекинга работают при суммарной конверсии остатка в диапазоне от около 50 до около 85 мас.%.

5. Способ по п.2, в котором четвертый катализатор гидроочистки остатка, содержащийся в нижней части второго реактора/отпарной колонны, содержит один или более катализаторов денитрификации или десульфуризации.

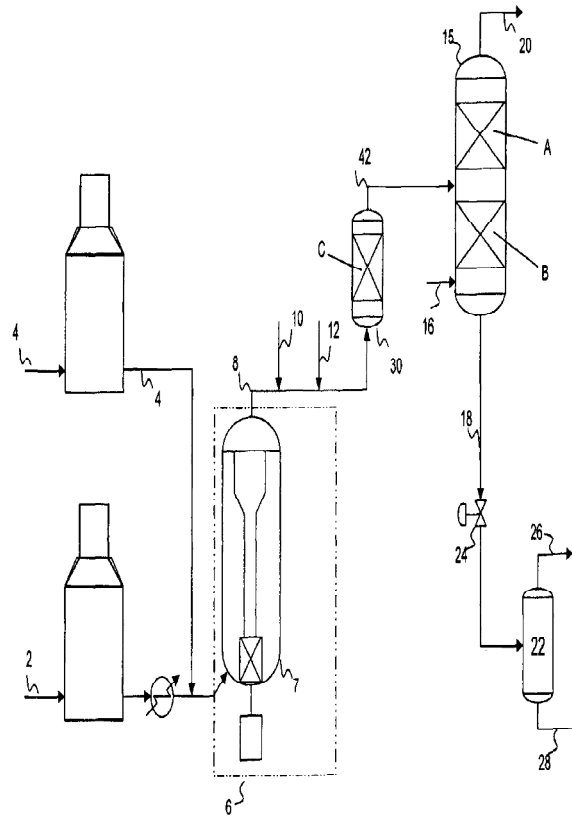
6. Способ по п.2, в котором третий катализатор гидроочистки остатка, содержащийся во втором реакторе с восходящим потоком, представляет собой катализатор деметаллизации.



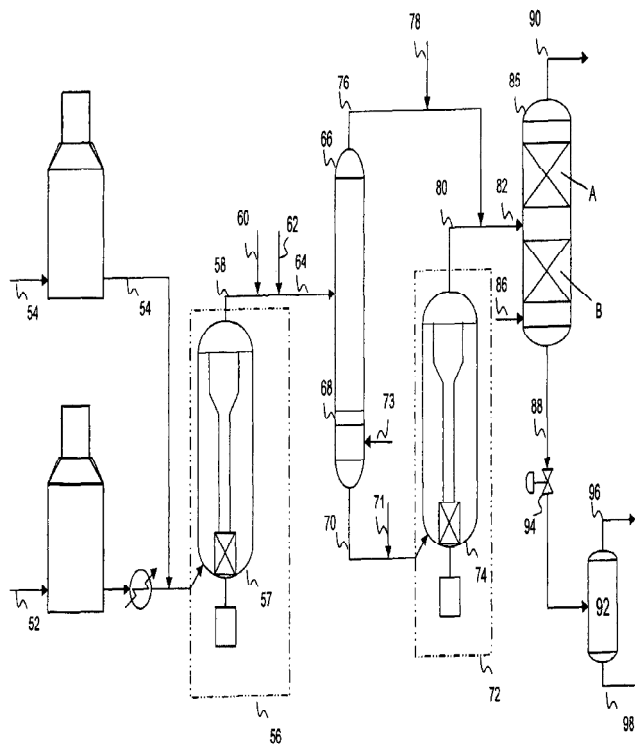
Фиг. 1



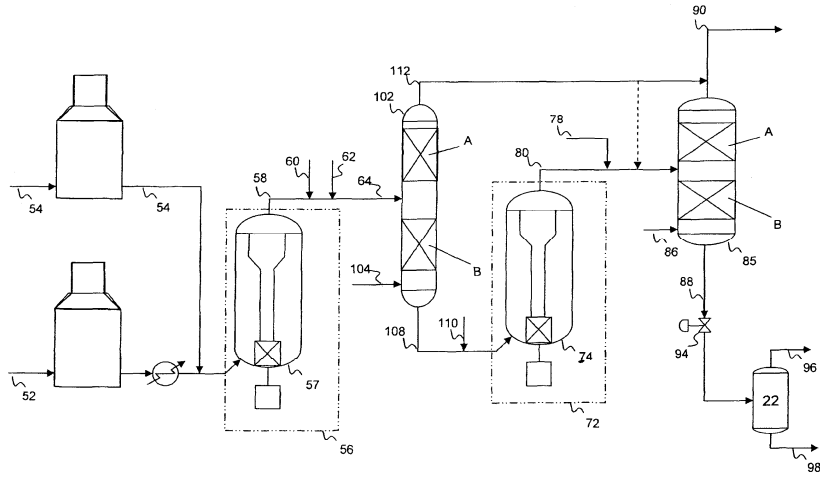
Фиг. 2А



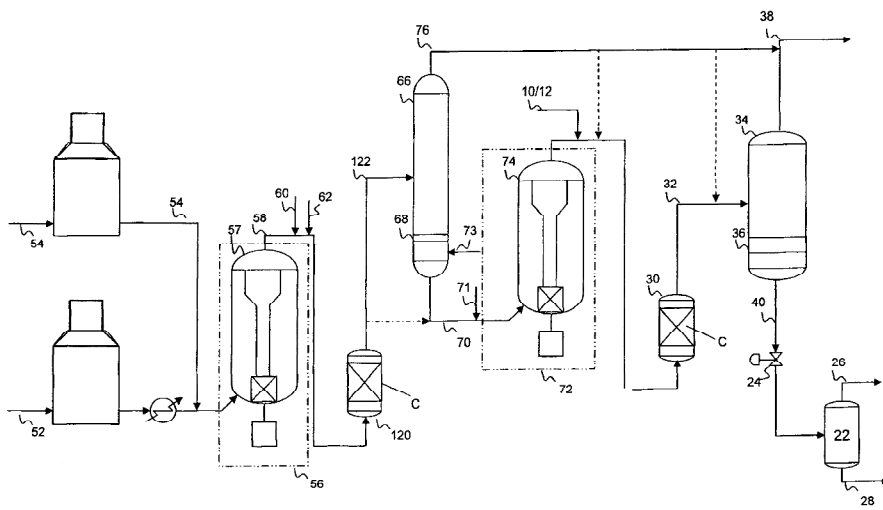
Фиг. 2В



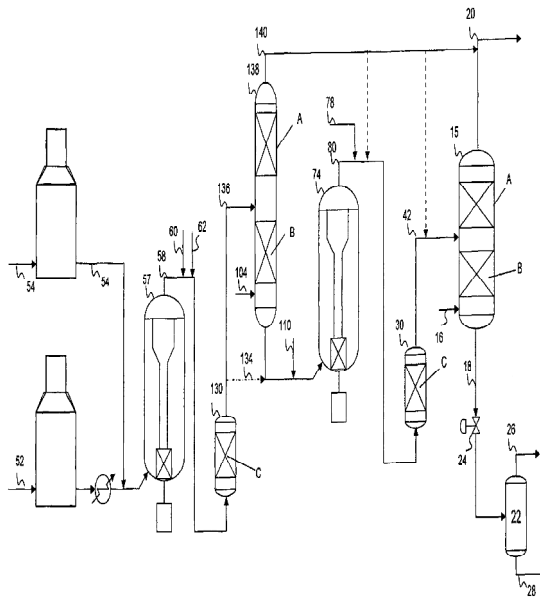
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

