

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **039600**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.02.15**

(21) Номер заявки  
**201891883**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.09.19**

(51) Int. Cl. **C10G 65/12** (2006.01)  
**C10G 7/00** (2006.01)  
**C10L 1/02** (2006.01)  
**C10L 1/04** (2006.01)

---

(54) **КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕССА ГИДРИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ТОПЛИВА С ПОМОЩЬЮ  
КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ СО СРЕДНЕЙ-НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ  
КИПЕНИЯ**

---

(31) **201810448892.X**

(32) **2018.05.11**

(33) **CN**

(43) **2019.11.29**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ИННЕР МОНГОЛИЯ ШЭНЬЮАНЬ  
ТЕКНОЛОДЖИ КО. ЛТД.; ЧАЙНА  
ЮНИВЕРСИТИ ОФ ПЕТРОЛИУМ  
(ИСТ ЧАЙНА) (CN)**

(72) Изобретатель:

**Ли Чуань, Дэн Вэнь'ань, Ван  
Цзиньлинь, Фэн Лян, Ли Шуфэн, Ду  
Фэн (CN)**

(74) Представитель:

**Носырева Е.Л. (RU)**

(56) **CN-A-106147852  
CN-A-105694970  
CN-A-103789034  
CN-A-103305269  
CN-A-104946306  
RU-C1-2255956**

---

(57) Комбинированный способ с применением процесса гидрирования для получения высококачественного топлива с помощью каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, в котором каменноугольную смолу со средней-низкой температурой кипения фракционируют с получением конечного продукта с применением блока термогидрокрекинга, первого блока фракционирования при атмосферном давлении, блока гидроочистки, блока фракционирования под вакуумом, блока гидрооблагораживания дизельной фракции и парафинового дистиллята, блока гидрокрекинга парафинового дистиллята, блока гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов и четвертого блока фракционирования при атмосферном давлении. С помощью настоящего изобретения можно эффективно улучшить качество продуктов, представляющих собой нефть, авиационный керосин и дизельное топливо, и получить высококачественные продукты с высоким выходом и высоким ценностным значением, поэтому оно имеет большие перспективы для продвижения и применения.

---

**039600 B1**

**039600 B1**

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

Настоящее изобретение относится к комбинированному способу с применением процесса гидрирования для получения высококачественного топлива с помощью каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения и принадлежит к области технологии переработки второсортного тяжелого масла.

### **Предпосылки создания изобретения**

Каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения в основном является результатом пиролиза низкосортного угля и газификации в неподвижном слое, при этом характеризуется как черный или коричневатый густой жидкий побочный продукт с едким запахом. В настоящее время общий объем выпуска каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения в Китае составляет приблизительно 6 млн тонн, при этом общий объем производства составляет 3,5 млн тонн. Каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения главным образом распространена в провинции Шэньси, районах Внутренняя Монголия и Синьцзян, и получают ее с помощью процесса пиролиза каменного угля. Тем не менее в Китае большое количество заводов по газификации угля переходят на этап планирования и проектирования и, соответственно, как основа процесса будет широко распространяться технология газификации с неподвижным слоем, в результате чего в будущем будет быстро увеличиваться производство соответствующей каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения. Предполагается, что к 2020 г. новый объем выпуска каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения достигнет 15 млн тонн в год. Кроме того, благодаря широкомасштабной популяризации экологически чистой и эффективной технологии использования низкосортного угля в Китае в настоящее время общепринятой концепцией отрасли стало повышение стоимости использования лигнита за счет технологии низкотемпературного пиролиза, что также увеличит производство каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения. В своем составе каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения содержит большое количество нестабильных компонентов, таких как ароматические углеводороды и смолы, которые легко коксуются во время обработки. Она также содержит большое количество механических примесей, таких как металлы и частицы пылевидного угля, которые серьезно влияют на рабочий цикл последующей обработки. По сравнению с каменноугольной смолой с высокой температурой кипения каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения характеризуется более высоким содержанием фенола, который является компонентом высокой промышленной ценности. В определенной степени эти характеристики каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения усложняют глубокую переработку. Сейчас трудно напрямую применять схемы переработки выдержанного тяжелого масла, что создает проблему для максимизации экономической выгоды от способа использования.

В документе CN 101538482 А раскрыт способ переработки каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, включающий следующие стадии: (1) фракционирование сырой каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения и получение легкой фракции (с конечной точкой кипения ниже 180-230°C), фенольной масляной фракции и тяжелой фракции (с начальной точкой кипения выше 270°C); (2) обесфеноливание фенольной масляной фракции, полученной на стадии (1), и получение продукта, представляющего собой фенол, и обесфеноленного масла; (3) проведение реакции коксования на обесфеноленном масле, полученном на стадии (2), и тяжелой фракции, полученной на стадии (1), и получение продуктов, представляющих собой сухой газ коксования, сжиженный газ, нефть коксования, дизельную фракцию коксования, парафиновый дистиллят коксования и нефтяной кокс; (4) смешивание по меньшей мере одного из нефти коксования, дизельной фракции коксования и парафинового дистиллята коксования, полученных на стадии (3), с легкой фракцией, полученной на стадии (1), или обесфеноленным маслом, полученным в результате обесфеноливания легкой фракции, проведение реакции гидроочистки и гидрокрекинга и получение продуктов, представляющих собой сухой газ, сжиженный газ, гидрированную нефть и гидрированную дизельную фракцию; (5) проведение каталитического риформинга-экстракции ароматических веществ на гидрированной нефти, полученной благодаря процессу гидрокрекинга на стадии (4), и получение продуктов, представляющих собой бензол, толуол, ксилол и масло селективной очистки. В документе CN 102465033 А раскрыт способ переработки каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, включающий следующие стадии: фракционирование каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения и получение легкой фракции и тяжелой фракции, при этом температура границы разделения легкой фракции и тяжелой фракции составляет 330-440°C; отделение фенольных соединений от легкой фракции с помощью кислотно-щелочной экстракции и получение неочищенного фенола; проведение предварительной гидроочистки легкой фракции после обесфеноливания; нагревание стоков предварительной гидроочистки с помощью нагревательной печи, а затем проведение гидрообработки. Тяжелая фракция может быть использована в качестве модифицированного битума, тяжелого жидкого топлива или сырьевого материала коксования. Эти патенты допускают технические проблемы, такие как низкий коэффициент использования каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, низкое качество продукта и низкое ценностное значение.

### Краткое описание изобретения

С учетом вышеизложенного изобретение направлено на предоставление комбинированного способа с применением процесса гидрирования для получения высококачественного топлива с помощью каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, с помощью которого можно решить технические проблемы, такие как низкий коэффициент использования каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, низкое качество продукта и низкое ценностное значение.

Для реализации вышеуказанной цели настоящее изобретение предусматривает следующую техническую схему.

Комбинированный способ с применением процесса гидрирования для получения высококачественного топлива с помощью каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения включает следующие стадии:

стадия i смешивания каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, катализатора, свежего водорода и рециркуляционного водорода и непосредственного введения в блок термогидрокрекинга, обеспечения после реакции в блоке термогидрокрекинга поступления полученного газообразного продукта в сеть трубопроводов и вместе с тем поступления жидкого продукта в первый блок фракционирования при атмосферном давлении;

стадия ii фракционирования жидкого продукта на нефть, дизельную фракцию и кипящее при атмосферном давлении остаточное масло посредством применения первого блока фракционирования при атмосферном давлении;

стадия iii смешивания нефти, свежего водорода и рециркуляционного водорода и введения в блок гидроочистки нефти, а также обеспечения после реакции в блоке гидроочистки нефти поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов, при этом жидкий продукт представляет собой очищенную нефть;

стадия iv обеспечения введения кипящего при атмосферном давлении остаточного масла в блок фракционирования под вакуумом и фракционирования кипящего при атмосферном давлении остаточного масла на хвостовую масляную фракцию и парафиновый дистиллят с применением фракционирования под вакуумом, при этом хвостовую масляную фракцию применяют для получения нового углеродного материала;

стадия v смешивания дизельной фракции с парафиновым дистиллятом, а затем смешивания со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее введения в блок гидрооблагораживания дизельной фракции и парафинового дистиллята, а также обеспечения после реакции в блоке гидрооблагораживания дизельной фракции и парафинового дистиллята поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов и вместе с тем поступления жидкого продукта во второй блок фракционирования при атмосферном давлении, а также фракционирования жидкого продукта на модифицированную нефть, модифицированную дизельную фракцию и модифицированный парафиновый дистиллят во втором блоке фракционирования при атмосферном давлении;

стадия vi смешивания модифицированного парафинового дистиллята с крекированным парафиновым дистиллятом, а затем смешивания со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее введения в блок гидрокрекинга парафинового дистиллята, а также обеспечения после реакции в блоке гидрокрекинга парафинового дистиллята поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов и вместе с тем поступления жидкого продукта в третий блок фракционирования при атмосферном давлении, а также фракционирования жидкого продукта на крекированную нефть, крекированную дизельную фракцию и фракцию крекированного парафинового дистиллята в третьем блоке фракционирования при атмосферном давлении;

стадия vii смешивания очищенной нефти с модифицированной нефтью, модифицированной дизельной фракцией, крекированной нефтью и крекированной дизельной фракцией, а затем смешивания со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее введения в блок гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов, а также обеспечения после реакции в блоке гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов и вместе с тем поступления жидкого продукта в четвертый блок фракционирования при атмосферном давлении, а также фракционирования жидкого продукта в четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении с выходом конечного продукта.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения заключается в следующем: в четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционируют на продукт, представляющий собой легкую нефть, такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, продукт, представляющий собой реактивное топливо, такой как авиационный керосин высокой плотности, и продукт, представляющий собой тяжелое дизельное топливо, такой как компонент смеси дизельного топлива высокой плотности.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения заключается в следующем: в четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционируют на продукт, представляющий собой нефть, такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, и продукт, представляющий собой дизельное топливо, такой как дизельное

топливо высокой плотности с низкой температурой конденсацией.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения заключается в следующем: катализатор блока термогидрокрекинга представляет собой растворимый в масле катализатор на основе триметаллического соединения, содержащего молибден-никель-железо; причем массовое соотношение в растворимом в масле катализаторе на основе триметаллического соединения, содержащего молибден-никель-железо, составляет от 1:5:5 до 1:10:10; при этом в блоке термогидрокрекинга применяется реактор термогидрокрекинга, который представляет собой полый трубчатый реактор без внутренних компонентов; при этом реактор термогидрокрекинга работает в условиях реакционного давления, составляющего 15-25 МПа, реакционной температуры, составляющей 410-460°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,5-2,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1400; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,1% от сырой каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения; при этом выход остаточного масла после вакуумного фракционирования в продуктах составляет менее 8 вес.%.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения заключается в следующем: в блоке гидроочистки применяется реактор гидроочистки нефти, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями олефинового насыщения и удаления серы и азота; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла из Co, Mo, Ni и W загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой нейтральный Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от нефти; при этом реактор гидроочистки нефти работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 150-290°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,4-1,5 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1000; при этом содержание S в очищенном продукте составляет менее 0,5 ppm и содержание N составляет менее 0,5 ppm.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения заключается в следующем: в блоке гидрообогашения применяется реактор гидрообогашения дизельной фракции и парафинового дистиллята, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями удаления металла, удаления серы и азота и незначительного крекинга парафинового дистиллята; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла из Co, Mo, Ni и W загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой слабокислотный оксид алюминия со значением pH в диапазоне 5-6; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята; при этом реактор гидрообогашения дизельной фракции и парафинового дистиллята работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 240-400°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,3-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 800/1400; при этом содержание S в модифицированных продуктах составляет менее 1 ppm и содержание N составляет менее 1 ppm.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения заключается в следующем: в блоке гидрокрекинга применяется реактор гидрокрекинга парафинового дистиллята, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функцией крекинга парафинового дистиллята; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла из Co, Mo, Ni и W загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой кислотный оксид алюминия со значением pH в диапазоне 4,1-4,7; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества модифицированного парафинового дистиллята; при этом реактор гидрокрекинга парафинового дистиллята работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 360-390°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,3-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 800/1600; при этом выход крекированного парафинового дистиллята в крекированных продуктах составляет менее 9 вес.%.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения заключается в следующем: в блоке гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов применяется реактор гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации; при этом реактор гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов работает в условиях реакционного давления, составляющего 12-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 220-340°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,2-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1000.

Кроме того, предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения заключается в следующем: загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации представ-

ляет собой катализатор, в котором два металла Pt и Pd загружены на  $Al_2O_3$ ; при этом общая масса металлов составляет 0,3-3,5% от массы катализатора; Pt и Pd имеют массовое соотношение, составляющее от 1:0,2 до 1:1; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества очищенной нефти, модифицированной нефти, модифицированной дизельной фракции, крекированной нефти и крекированной дизельной фракции.

Настоящее изобретение характеризуется следующими благоприятными эффектами.

Благодаря настоящему изобретению снижается выход остаточного масла в продуктах после фракционирования под вакуумом посредством реакции термогидрокрекинга и улучшается качество продуктов, представляющих собой нефть, авиационный керосин и дизельное топливо, за счет применения блоков гидроочистки нефти, гидрообогащения дизельной фракции и парафинового дистиллята, гидрокрекинга парафинового дистиллята и гидрирования с применением благородных металлов. С помощью способа, предусмотренного настоящим изобретением, можно получить высококачественные продукты с высоким выходом и высоким ценностным значением, поэтому способ имеет большие перспективы для продвижения и применения.

#### **Краткое описание графических материалов**

На чертеже показана принципиальная технологическая схема комбинированного способа с применением процесса гидрирования по настоящему изобретению.

#### **Подробное описание предпочтительного варианта осуществления**

Настоящее изобретение раскрывает комбинированный способ с применением процесса гидрирования для получения высококачественного топлива с помощью каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения. Специалисты в данной области техники могут внести надлежащие изменения в параметры процесса для его реализации со ссылкой на содержание данного документа. В частности, следует отметить, что аналогичные замены и изменения очевидны для специалистов в данной области и должны быть включены в настоящее изобретение. Способ и ссылка по настоящему изобретению описаны в предпочтительных вариантах осуществления. Очевидно, что соответствующие специалисты могут реализовать и применить способ по настоящему изобретению путем изменения или надлежащего изменения и комбинирования описанных в данном документе способа и применения без отклонения от содержания, сущности и объема настоящего изобретения.

Как показано на чертеже, комбинированный способ с применением процесса гидрирования для получения высококачественного топлива с помощью каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения включает следующие стадии:

стадия i, на которой смешивают каменноугольную смолу со средней-низкой температурой кипения, катализатор, свежий водород и рециркуляционный водород для непосредственного введения в блок термогидрокрекинга; после реакции в блоке термогидрокрекинга полученный газообразный продукт поступает в сеть трубопроводов, а жидкий продукт поступает в первый блок фракционирования при атмосферном давлении;

стадия ii, на которой жидкий продукт фракционируют на нефть, дизельную фракцию и кипящее при атмосферном давлении остаточное масло посредством первого блока фракционирования при атмосферном давлении;

стадия iii, на которой смешивают нефть, свежий водород и рециркуляционный водород для введения в блок гидроочистки нефти; после реакции в блоке гидроочистки нефти газообразный продукт поступает в сеть трубопроводов, а жидкий продукт представляет собой очищенную нефть;

стадия iv, на которой кипящее при атмосферном давлении остаточное масло поступает в блок фракционирования под вакуумом для фракционирования на хвостовую масляную фракцию и парафиновый дистиллят; причем хвостовую масляную фракцию применяют для получения нового углеродного материала;

стадия v, на которой дизельную фракцию сначала смешивают с парафиновым дистиллятом, а затем смешивают со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее подают в блок гидрооблагораживания дизельной фракции и парафинового дистиллята; после реакции в блоке гидрооблагораживания дизельной фракции и парафинового дистиллята газообразный продукт поступает в сеть трубопроводов, а жидкий продукт поступает во второй блок фракционирования при атмосферном давлении для фракционирования с получением модифицированной нефти, модифицированной дизельной фракции и модифицированного парафинового дистиллята;

стадия vi, на которой модифицированный парафиновый дистиллят сначала смешивают с крекированным парафиновым дистиллятом, а затем смешивают со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее подают в блок гидрокрекинга парафинового дистиллята; после реакции в блоке гидрокрекинга парафинового дистиллята газообразный продукт поступает в сеть трубопроводов, а жидкий продукт поступает в третий блок фракционирования при атмосферном давлении для фракционирования на крекированную нефть, крекированную дизельную фракцию и крекированную фракцию парафинового дистиллята;

стадия vii, на которой очищенную нефть сначала смешивают с модифицированной нефтью, модифицированной дизельной фракцией, крекированной нефтью и крекированной дизельной фракцией, а за-

тем смешивают со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее подают в блок гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов; после реакции в блоке гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов газообразный продукт поступает в сеть трубопроводов, а жидкий продукт поступает в четвертый блок фракционирования при атмосферном давлении с выходом конечного продукта после фракционирования.

В четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционируют на продукт, представляющий собой легкую нефть, такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, продукт, представляющий собой реактивное топливо, такой как авиационный керосин высокой плотности, и продукт, представляющий собой тяжелое дизельное топливо, такой как компонент смеси дизельного топлива высокой плотности.

В четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционируют на продукт, представляющий собой нефть, такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, и продукт, представляющий собой дизельное топливо, такой как дизельное топливо высокой плотности с низкой температурой конденсации.

Катализатор блока термогидрокрекинга представляет собой растворимый в масле катализатор на основе триметаллического соединения, содержащего молибден-никель-железо; причем массовое соотношение в растворимом в масле катализаторе на основе триметаллического соединения, содержащего молибден-никель-железо, составляет от 1:5:5 до 1:10:10; при этом в блоке термогидрокрекинга применяется реактор термогидрокрекинга, который представляет собой полый трубчатый реактор без внутренних компонентов; при этом реактор термогидрокрекинга работает в условиях реакционного давления, составляющего 15-25 МПа, реакционной температуры, составляющей 410-460°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,5-2,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1400; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,1% от сырой каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения; при этом выход остаточного масла после вакуумного фракционирования в продуктах составляет менее 8 вес.%.

В блоке гидроочистки применяется реактор гидроочистки нефти, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями олефинового насыщения и удаления серы и азота; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла из Co, Mo, Ni и W загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой нейтральный Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от нефти; при этом реактор гидроочистки нефти работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 150-290°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,4-1,5 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1000; при этом содержание S в очищенных продуктах составляет менее 0,5 ppm и содержание N составляет менее 0,5 ppm.

В блоке гидрообогащения применяется реактор гидрообогащения дизельной фракции и парафинового дистиллята, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями удаления металла, удаления серы и азота и незначительного крекинга парафинового дистиллята; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла из Co, Mo, Ni и W загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой слабокислотный оксид алюминия со значением pH в диапазоне 5-6; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята; при этом реактор гидрообогащения дизельной фракции и парафинового дистиллята работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 240-400°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,3-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 800/1400; при этом содержание S в модифицированных продуктах составляет менее 1 ppm и содержание N составляет менее 1 ppm.

В блоке гидрокрекинга применяется реактор гидрокрекинга парафинового дистиллята, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функцией крекинга парафинового дистиллята; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла из Co, Mo, Ni и W загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой кислотный оксид алюминия со значением pH в диапазоне 4,1-4,7; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества модифицированного парафинового дистиллята; при этом реактор гидрокрекинга парафинового дистиллята работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 360-390°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,3-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 800/1600; при этом выход крекированного парафинового дистиллята в крекированных продуктах составляет менее 9 вес.%.

В блоке гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов применяется реактор гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных ме-

таллов, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации; при этом реактор гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов работает в условиях реакционного давления, составляющего 12-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 220-340°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,2-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1000.

Загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации представляет собой катализатор, в котором два металла Pt и Pd загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 0,3-3,5% от массы катализатора; Pt и Pd имеют массовое соотношение, составляющее от 1:0,2 до 1:1; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества очищенной нефти, модифицированной нефти, модифицированной дизельной фракции, крекированной нефти и крекированной дизельной фракции.

### Примеры

#### Пример 1.

Каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения, применяемая в примере 1, была из Внутренней Монголии; свойства сырьевого материала представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Свойства сырой каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения из Внутренней Монголии

Позиции	Каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения
Плотность (20°C), г·см <sup>-3</sup>	1,0990
Содержание воды, вес. %	1,75
Содержание С, вес. %	80,93
Содержание Н, вес. %	8,11
Содержание S, вес. %	0,58
Содержание N, вес. %	1,13
Коксовый остаток, вес. %	7,50
Асфальтен, вес. %	32,38
Толуол нерастворимый, вес. %	6,50

Пилотное испытание каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения проводили в соответствии со следующими рабочими условиями:

реакционная температура термогидрокрекинга составляла 410°C, реакционное давление составляло 15,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 1400:1, объемная скорость свежего сырьевого материала составляла 0,5 ч<sup>-1</sup>, массовое соотношение в катализаторе, содержащем молибден-никель-железо, составляло 1:5:5 и общее количество металла в катализаторе составляло 0,005% от сырьевого материала;

средняя реакционная температура гидроочистки нефти составляла 290°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 18,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 1000:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 1,5 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функциями удаления металла, удаления серы и азота и незначительного крекинга парафинового дистиллята; это специальный катализатор, в котором Со, Мо и Ni были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и находились в массовом соотношении, составляющем 1:1:1; при этом общая масса металлов составляла 20% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представлял собой нейтральный оксид алюминия; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,01% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрообогащения дизельной фракции и парафинового дистиллята составляла 240°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 18,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 800:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 0,3 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой катализатор, в котором Со, Мо и W были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и находились в массовом соотношении, составляющем 1:2:2; при этом общая масса металлов составляла 20% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представлял собой слабокислотный оксид алюминия со значением рН в диапазоне 5-6; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,01% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрокрекинга парафинового дистиллята составляла 360°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 14,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 800:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 0,3 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функцией крекинга парафинового дистиллята; это катализатор, в котором Со, Мо и Ni загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и находились в массовом соотношении, составляющем 1:1:1; при этом общая масса металлов составляла 20% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представлял собой кислотный оксид алюминия со значением рН в диапазоне 4,1-4,7; при этом общее количество металлов в катализа-

торе составляло 0,01% от общего количества модифицированного парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов составляла 220°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 12,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 600:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 0,2 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации; это катализатор, в котором два металла Pt и Pd загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляла 0,3% от массы катализатора; Pt и Pd находились в массовом соотношении, составляющем 1:0,2; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,01% от общего количества модифицированной нефти, модифицированной дизельной фракции, крекированной нефти и крекированной дизельной фракции.

В четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционировали на продукт, представляющий собой легкую нефть (фракция с ИВР~140°C), такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, продукт, представляющий собой реактивное топливо (фракция 140~300°C), такой как авиационный керосин высокой плотности, и продукт, представляющий собой тяжелое дизельное топливо (фракция >300°C), такой как компонент смеси дизельного топлива высокой плотности.

Результаты материального баланса для примера 1 приведены в табл. 2; свойства основных полученных продуктов приведены в табл. 3-5.

Таблица 2

Результаты материального баланса гидрирования каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения из Внутренней Монголии

Распределение продукта (свежего сырьевого материала), вес. %		
Подаваемый материал	Название подаваемого материала и выпускаемого материала	Каменноугольная смола
	Вся фракция каменноугольной смолы	100
	Расход водорода	9,26
	Суммарное количество подаваемых материалов	109,26
Выпускаемый материал	Газ	19,14
	Вода	8,22
	Нафта	15,29
	Реактивное топливо	38,85
	Тяжелое дизельное топливо	27,79
	Суммарное количество выпускаемых материалов	109,26

Таблица 3

Свойства продукта, представляющего собой легкую нефть (ИВР-140°C)

Позиции анализа	Легкая нефть
Плотность (20°C)/г·см <sup>-3</sup>	0,7693
S/мкг·г <sup>-1</sup>	<0,1
N/мкг·г <sup>-1</sup>	<0,1
Потенциальное содержание ароматических веществ	76,8



Таблица 4  
Свойства продукта, представляющего собой авиационный керосин  
(140-280°C)

Позиции анализа	Компонент авиационного керосина
Плотность (20°C)/г·см <sup>-3</sup>	0,8558
Точка замерзания/°C	-60
S/мкг·г <sup>-1</sup>	3
N/мкг·г <sup>-1</sup>	5
Коррозия медной полосы (100°C, 2Н)/степень	1a
Коррозия серебряной полосы (50°C, 4Н)/степень	/
Низшая теплотворная способность/МДж·(кг) <sup>-1</sup>	43,05
Максимальная высота некоптящего пламени/мм	26,2
Содержание ароматических веществ на основе нафталина/вес.% (максимальная высота некоптящего пламени < 20 мм)	0,15
Концентрация фактических смол/мг (100 мл) <sup>-1</sup>	0,3

Таблица 5  
Свойства продукта, представляющего собой тяжелое дизельное топливо  
(280-370°C)

Позиции анализа	Компонент дизельного топлива
Плотность (20°C)/г·см <sup>-3</sup>	0,9501
Температура конденсации/°C	-43
C/вес.%	87,66
H/вес.%	12,13
S/мкг·г <sup>-1</sup>	7,2
N/мкг·г <sup>-1</sup>	9,0

Пример 2.

Каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения, применяемая в примере 2, была из провинции Шэньси; свойства сырьевого материала представлены в табл. 6.

Таблица 6  
Свойства сырой каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения из провинции Шэньси

Позиции	Каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения
Плотность (20°C), г·см <sup>-3</sup>	1,0753
Содержание воды, вес.%	1,26
Содержание С, вес.%	80,42
Содержание Н, вес.%	8,60
Содержание S, вес.%	0,39
Содержание N, вес.%	0,97
Коксовый остаток, вес.%	11,81
Асфальтен, вес.%	28,64
Толуол нерастворимый, вес.%	5,25

Пилотное испытание каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения проводили в соответствии со следующими рабочими условиями:

реакционная температура термогидрокрекинга составляла 460°C, реакционное давление составляло 25,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 600:1, объемная скорость свежего сырьевого материала составляла 2,0 ч<sup>-1</sup>, массовое соотношение в катализаторе, содержащем молибден-никель-железо, составляло 1:10:10 и общее количество металла в катализаторе составляло 0,1% от сырьевого материала;

средняя реакционная температура гидроочистки нефти составляла 150°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 14,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 600:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 0,4 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функциями удаления металла, удаления серы и азота и незначительного крекинга парафинового дистиллята; это специальный катализатор, в котором Mo и W были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и находились в массовом соотношении, составляющем 1:1; при этом общая масса металлов составляла 40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представлял собой нейтральный оксид алюминия; при этом общее количество

металлов в катализаторе составляло 0,005% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрообогашения дизельной фракции и парафинового дистиллята составляла 400°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 14,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 1400:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 1,0 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой катализатор, в котором Mo и Ni были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляла 40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой слабокислотный оксид алюминия со значением рН в диапазоне 5-6; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,005% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрокрекинга парафинового дистиллята составляла 390°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 18,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 1600:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 1,0 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функцией крекинга парафинового дистиллята; он представлял собой катализатор, в котором Ni и W были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и находились в массовом соотношении, составляющем 1:1; при этом общая масса металлов составляла 40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представлял собой кислотный оксид алюминия со значением рН в диапазоне 4,1-4,7; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,005% от общего количества модифицированного парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов составляла 340°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 18,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 1000:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 1,0 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации; это катализатор, в котором два металла Pt и Pd были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляла 3,5% от массы катализатора; Pt и Pd находились в массовом соотношении, составляющем 1:1; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,005% от общего количества модифицированной нефти, модифицированной дизельной фракции, крекированной нефти и крекированной дизельной фракции.

В четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционировали на продукт, представляющий собой нефть (фракция IBP~180°C), такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, и продукт, представляющий собой дизельное топливо, такой как дизельное топливо высокой плотности с низкой температурой конденсации (фракция >180°C).

Результаты материального баланса для примера 2 приведены в табл. 7; свойства полученных основных продуктов приведены в табл. 8, 9.

Таблица 7

Результат материального баланса гидрирования каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения из провинции Шэньси

Распределение продукта (свежего сырьевого материала), вес. %		
Подаваемый материал	Название подаваемого материала и выпускаемого материала	Каменноугольная смола
	Вся фракция каменноугольной смолы	100
	Расход водорода	9,05
	Суммарное количество подаваемых материалов	109,05
Выпускаемый материал	Газ	19,28
	Вода	7,96
	Нефть	24,36
	Дизельная фракция	57,45
	Суммарное количество выпускаемых материалов	109,05

Таблица 8

Свойства продукта, представляющего собой нефть (IBP-180°C)

Позиции анализа	Нефтя
Плотность (20°C)/г·см <sup>-3</sup>	0,7932
S/мкг·г <sup>-1</sup>	1,1
N/мкг·г <sup>-1</sup>	1,6
Потенциальное содержание ароматических веществ	76,8

Таблица 9

Свойства продукта, представляющего собой дизельное топливо (180-370°C)

Позиции анализа	Компонент дизельного топлива
Плотность (20°C)/г·см <sup>-3</sup>	0,9026
Температура конденсации/°C	-67,0
C/вес. %	87,66
H/вес. %	12,13
S/мкг·г <sup>-1</sup>	4,3
N/мкг·г <sup>-1</sup>	6,2

## Пример 3.

Как и в примере 1, каменноугольная смола со средней-низкой температурой кипения, применяемая в примере 3, была из Внутренней Монголии; свойства сырьевого материала представлены в табл. 1.

Пилотное испытание каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения проводили в соответствии со следующими рабочими условиями:

реакционная температура термогидрокрекинга составляла 430°C, реакционное давление составляло 20,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 1000:1, объемная скорость свежего сырьевого материала составляла 1,0 ч<sup>-1</sup>, массовое соотношение в катализаторе, содержащем молибден-никель-железо, составляло 1:7:6, и общее количество металла в катализаторе составляло 0,010% от сырьевого материала;

средняя реакционная температура гидроочистки нефти составляла 230°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 16,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 800:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 1,0 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функциями удаления металла, удаления серы и азота и незначительного крекинга парафинового дистиллята; это специальный катализатор, в котором Со, Мо и W были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и находились в массовом соотношении, составляющем 1:2:3; при этом общая масса металлов составляла 30% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представлял собой нейтральный оксид алюминия; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,008% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрообогащения дизельной фракции и парафинового дистиллята составляла 320°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 16,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 1200:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 0,8 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой катализатор, в котором Мо, Ni и W были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и находились в массовом соотношении, составляющем 1:1:2; при этом общая масса металлов составляла 28% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представлял собой слабокислотный оксид алюминия со значением рН в диапазоне 5-6; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,006% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрокрекинга парафинового дистиллята составляла 370°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 16,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 1200:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 0,7 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функцией крекинга парафинового дистиллята; это катализатор, в котором Со, Мо и Ni были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и находились в массовом соотношении, составляющем 1:4:4; при этом общая масса металлов составляла 30% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представлял собой кислотный оксид алюминия со значением рН в диапазоне 4,1-4,7; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло 0,007% от общего количества модифицированного парафинового дистиллята;

средняя реакционная температура гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов составляла 280°C, суммарное давление на выходе из реактора составляло 16,0 МПа, соотношение водород/масло составляло 800:1, объемная скорость подаваемого материала составляла 0,7 ч<sup>-1</sup>; причем катализатор представлял собой загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации; это катализатор, в котором два металла Pt и Pd были загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляла 2,5% от массы катализатора; Pt и Pd находились в массовом соотношении, составляющем 1:0,6; при этом общее количество металлов в катализаторе составляло

ло 0,007% от общего количества модифицированной нефти, модифицированной дизельной фракции, крекированной нефти и крекированной дизельной фракции.

В четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционировали на продукт, представляющий собой легкую нефть (фракция ИВР~140°C), такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, продукт, представляющий собой реактивное топливо (фракция 140~300°C), такой как авиационный керосин высокой плотности, и продукт, представляющий собой тяжелое дизельное топливо (фракция >300°C), такой как компонент смеси дизельного топлива высокой плотности.

Результаты материального баланса для примера 3 приведены в табл. 10; свойства полученных основных продуктов приведены в табл. 11-13.

Таблица 10

Результаты материального баланса гидрирования каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения из Внутренней Монголии

Распределение продукта (свежего сырьевого материала), вес. %		
Подаваемый материал	Название подаваемого материала и выпускаемого материала	Каменноугольная смола
	Вся фракция каменноугольной смолы	100
	Расход водорода	8,52
	Суммарное количество подаваемых материалов	108,52
Выпускаемый материал	Газ	18,96
	Вода	8,10
	Нафта	15,13
	Реактивное топливо	38,66
	Тяжелое дизельное топливо	20,70
	Суммарное количество выпускаемых материалов	108,52

Таблица 11

Свойства продукта, представляющего собой легкую нефть (ИВР-140°C)

Позиции анализа	Легкая нефть
Плотность (20°C)/г·см <sup>-3</sup>	0,7685
S/мкг·г <sup>-1</sup>	<0,1
N/мкг·г <sup>-1</sup>	<0,1
Потенциальное содержание ароматических веществ	76,3

Таблица 12

Свойства продукта, представляющего собой авиационный керосин (140-280°C)

Позиции анализа	Компонент реактивного топлива
Плотность (20°C)/г·см <sup>-3</sup>	0,8562
Точка замерзания/°C	-60
S/мкг·г <sup>-1</sup>	3
N/мкг·г <sup>-1</sup>	5
Коррозия медной полосы (100°C, 2Н)/степень	1a
Коррозия серебряной полосы (50°C, 4Н)/степень	/
Низшая теплотворная способность/МДж·(кг) <sup>-1</sup>	43,08
Максимальная высота некопящего пламени/мм	26,1
Содержание ароматических веществ на основе нафталина/вес. % (максимальная высота некопящего пламени < 20 мм)	0,13
Концентрация фактических смол/мг (100 мл) <sup>-1</sup>	0,29

Таблица 13

Свойства продукта, представляющего собой тяжелое дизельное топливо  
(280-370°C)

Позиции анализа	Компонент дизельного топлива
Плотность (20°C)/г·см <sup>-3</sup>	0,9503
Температура конденсации/°C	-44
C/вес. %	87,61
H/вес. %	12,06
S/мкг·г <sup>-1</sup>	7,2
N/мкг·г <sup>-1</sup>	9,0

Приведенное выше описание раскрытых вариантов осуществления может помочь специалистам в данной области техники реализовать или применить настоящее изобретение. Различные модификации, выполненные в вариантах осуществления, очевидны для специалистов в данной области техники. Общие принципы, определенные в данном документе, могут быть реализованы в других вариантах осуществления без отступления от сущности или объема настоящего изобретения. Следовательно, настоящее изобретение не будет ограничено описанными в данном документе вариантами осуществления, а будет рассматриваться в соответствии с самым широким объемом, который согласуется с принципами и признаками новизны, раскрытыми здесь.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования для получения высококачественного топлива с помощью каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, включающий следующие стадии:

стадия i смешивания каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения, катализатора, свежего водорода и рециркуляционного водорода и непосредственного введения смеси в блок термогидрокрекинга, обеспечения после реакции в блоке термогидрокрекинга поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов и вместе с тем поступления жидкого продукта в первый блок фракционирования при атмосферном давлении;

стадия ii фракционирования жидкого продукта на нефть, дизельную фракцию и кипящее при атмосферном давлении остаточное масло посредством первого блока фракционирования при атмосферном давлении;

стадия iii смешивания нефти, свежего водорода и рециркуляционного водорода и введения полученной смеси в блок гидроочистки нефти, а также обеспечения после реакции в блоке гидроочистки нефти поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов, при этом жидкий продукт представляет собой очищенную нефть;

стадия iv обеспечения введения кипящего при атмосферном давлении остаточного масла в блок фракционирования под вакуумом и фракционирования кипящего при атмосферном давлении остаточного масла на хвостовую масляную фракцию и парафиновый дистиллят с применением фракционирования под вакуумом, при этом хвостовую масляную фракцию подают на стадию получения нового углеродного материала;

стадия v смешивания дизельной фракции с парафиновым дистиллятом, а затем смешивания со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее введения в блок гидрооблагораживания дизельной фракции и парафинового дистиллята, а также обеспечения после реакции в блоке гидрооблагораживания дизельной фракции и парафинового дистиллята, поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов и вместе с тем поступления жидкого продукта во второй блок фракционирования при атмосферном давлении, а также фракционирования жидкого продукта на модифицированную нефть, модифицированную дизельную фракцию и модифицированный парафиновый дистиллят во втором блоке фракционирования при атмосферном давлении;

стадия vi смешивания модифицированного парафинового дистиллята с крекированным парафиновым дистиллятом, а затем смешивания со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее введения в блок гидрокрекинга парафинового дистиллята, а также обеспечения после реакции в блоке гидрокрекинга парафинового дистиллята поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов и вместе с тем поступления жидкого продукта в третий блок фракционирования при атмосферном давлении, а также фракционирования жидкого продукта на крекированную нефть, крекированную дизельную фракцию и фракцию крекированного парафинового дистиллята в третьем блоке фракционирования при атмосферном давлении;

стадия vii смешивания очищенной нефти с модифицированной нефтью, модифицированной дизельной фракцией, крекированной нефтью и крекированной дизельной фракцией, а затем смешивания со свежим водородом и рециркуляционным водородом и далее введения в блок гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов, а также обеспечения после реакции в блоке

гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов поступления газообразного продукта в сеть трубопроводов и вместе с тем поступления жидкого продукта в четвертый блок фракционирования при атмосферном давлении, а также фракционирования жидкого продукта в четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении с выходом конечного продукта.

2. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования по п.1, отличающийся тем, что в четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционируют на продукт, представляющий собой легкую нефть, такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, продукт, представляющий собой реактивное топливо, такой как авиационный керосин высокой плотности, и продукт, представляющий собой тяжелое дизельное топливо, такой как компонент смеси дизельного топлива высокой плотности.

3. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования по п.1, отличающийся тем, что в четвертом блоке фракционирования при атмосферном давлении жидкий продукт фракционируют на продукт, представляющий собой нефть, такой как высококачественный сырьевой материал для каталитического риформинга, и продукт, представляющий собой дизельное топливо, такой как дизельное топливо высокой плотности с низкой температурой конденсации.

4. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования по п.1, отличающийся тем, что катализатор блока термогидрокрекинга представляет собой растворимый в масле катализатор на основе триметаллического соединения, содержащего молибден-никель-железо; причем массовое соотношение в растворимом в масле катализаторе на основе триметаллического соединения, содержащего молибден-никель-железо, составляет от 1:5:5 до 1:10:10; при этом в блоке термогидрокрекинга применяют реактор термогидрокрекинга, который представляет собой полый трубчатый реактор без внутренних компонентов; при этом реактор термогидрокрекинга работает в условиях реакционного давления, составляющего 15-25 МПа, реакционной температуры, составляющей 410-460°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,5-2,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1400; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,1% от сырой каменноугольной смолы со средней-низкой температурой кипения; при этом выход остаточного масла после вакуумного фракционирования в продуктах составляет менее 8 вес.%.

5. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования по п.1, отличающийся тем, что в блоке гидроочистки применяют реактор гидроочистки нефти, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями олефинового насыщения и удаления серы и азота; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла, выбранные из Co, Mo, Ni и W, загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой нейтральный Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от нефти; при этом реактор гидроочистки нефти работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 150-290°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,4-1,5 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1000; при этом содержание S в очищенных продуктах составляет менее 0,5 ppm и содержание N составляет менее 0,5 ppm.

6. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования по п.1, отличающийся тем, что в блоке гидрооблагораживания применяют реактор гидрообогачения дизельной фракции и парафинового дистиллята, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями удаления металла, удаления серы и азота и незначительного крекинга парафинового дистиллята; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла, выбранные из Co, Mo, Ni и W, загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой слабокислотный оксид алюминия со значением pH в диапазоне 5-6; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества дизельной фракции и парафинового дистиллята; при этом реактор гидрообогачения дизельной фракции и парафинового дистиллята работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 240-400°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,3-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 800/1400; при этом содержание S в модифицированных продуктах составляет менее 1 ppm и содержание N составляет менее 1 ppm.

7. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования по п.1, отличающийся тем, что в блоке гидрокрекинга применяют реактор гидрокрекинга парафинового дистиллята, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функцией крекинга парафинового дистиллята; причем катализатор представляет собой специальный катализатор, в котором два или три металла, выбранные из Co, Mo, Ni и W, загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 20-40% от массы катализатора; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> представляет собой кислотный оксид алюминия со значением pH в диапазоне 4,1-4,7; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества модифицированного парафинового дистиллята; при этом реактор гидрокрекинга парафинового дистиллята работает в условиях реакционного давления, составляющего 14-18 МПа, реакционной темпера-

туры, составляющей 360-390°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,3-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 800/1600; при этом выход крекированного парафинового дистиллята в крекированных продуктах составляет менее 9 вес. %.

8. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования по п.1, отличающийся тем, что в блоке гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов применяются реактор гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов, который представляет собой реактор с неподвижным слоем, содержащий загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации; при этом реактор гидрирования бензиновой и дизельной фракции с применением благородных металлов работает в условиях реакционного давления, составляющего 12-18 МПа, реакционной температуры, составляющей 220-340°C, объемной скорости общего объема подаваемого материала, составляющей 0,2-1,0 ч<sup>-1</sup>, и объемного соотношения водород/масло, составляющего 600/1000.

9. Комбинированный способ с применением процесса гидрирования по п.8, отличающийся тем, что загруженный катализатор с функциями ароматического насыщения и изомеризации представляет собой катализатор, в котором два металла Pt и Pd загружены на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; при этом общая масса металлов составляет 0,3-0,5% от массы катализатора; Pt и Pd находятся в массовом соотношении, составляющем от 1:0,2 до 1:1; при этом общее количество металлов в катализаторе составляет 0,005-0,01% от общего количества очищенной нефти, модифицированной нефти, модифицированной дизельной фракции, крекированной нефти и крекированной дизельной фракции.

