

УДК 665.6/.7+665.65

## КОКСОВАНИЕ ГУДРОНОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОСТАВОМ И СВОЙСТВАМИ

<sup>1</sup>Косицына С.С., <sup>1</sup>Бурюкин Ф.А., <sup>1</sup>Буза А.О., <sup>2</sup>Мельчаков Д.А.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: kositsyna\_ss@mail.ru;

<sup>2</sup>АО «Ачинский нефтеперерабатывающий завод Восточной нефтяной компании», Ачинск

Проведены эксперименты по коксованию гудронов нефтей Ванкорского, Юрубчено-Тохомского месторождений, товарной нефти о. Сахалин и товарной западносибирской нефти, поступающей на нефтеперерабатывающие заводы Восточной Сибири и Дальнего Востока. Установлены зависимости влияния свойств гудронов с различными физико-химическими свойствами на материальный баланс процесса и показатели качества топливных фракций в условиях варьирования температуры, давления и коэффициента рециркуляции. Наибольший выход нефтяного кокса наблюдался при коксовании гудрона сахалинской нефти, а газообразных и жидких продуктов – нефти Юрубчено-Тохомского месторождения и западносибирской. Установлено, что при коксовании парафинистых гудронов с низкой плотностью повышение температуры и увеличение доли вторичного сырья в большей степени оказывает влияние на материальный баланс процесса коксования, чем при использовании ароматизированных гудронов с высокой коксумостью.

**Ключевые слова:** замедленное коксование, нефть Восточной Сибири, гудрон, продукты коксования

## DELAYED COKING OF VACUUM RESIDUE WITH A DIFFERENT COMPOSITION AND PROPERTIES

<sup>1</sup>Kositsyna S.S., <sup>1</sup>Buryukin F.A., <sup>1</sup>Buza A.O., <sup>2</sup>Melchakov D.A.

<sup>1</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: kositsyna\_ss@mail.ru;

<sup>2</sup>Achinsk Refinery, Achinsk

In the research there have been conducted the experiments in coking of vacuum residues from the Vankor and Yurubcheno-Tohomsk deposits, Sakhalin and West Siberian commercial oil commercial oil. Were identified the dependences of the influence of the properties of various vacuum residue to the output of coking products and physico-chemical characteristics of the fuel fractions of coking products with changes in temperature, pressure, and recycle ratio. The highest yield of petroleum coke obtained by the coking of Sakhalin oil's vacuum residue, and the most of gaseous and liquid products are formed during the coking of vacuum residue Yurubcheno-Tohomsk and West Siberian oils. It was found that the increase in temperature and recycle ratio more influence on yield of the cooking products of vacuum residues contain a lot of paraffinic hydrocarbons and have a low density, than if the aromatic vacuum residue with a greater coke number.

**Keywords:** delayed coking, Eastern Siberia oil, vacuum residue, delayed coking products

Значение углубляющих процессов для отечественной нефтеперерабатывающей промышленности РФ с каждым годом неуклонно возрастает. Требования к рациональному использованию нефтяных ресурсов с получением из них максимального количества светлых топливных фракций были закреплены соглашением между крупнейшими вертикально-интегрированными нефтяными компаниям (ВИНК), Федеральной антимонопольной службой, Ростехнадзором и Росстандартом в июле 2011 года. Модернизация российских нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) предусматривает, среди прочего, создание дополнительных мощностей вторичных процессов.

Одним из наиболее простых в технологическом оформлении и универсальных по сырью вариантов получения дополнительного количества моторных топлив из нефтяных остатков является процесс замедленного коксования. В настоящее время доля замедленного коксования в отечественной нефтепереработке от первичной переработ-

ки составляет около 3% [2, 5]. Семь установок расположены на 5 НПЗ, в ближайшей перспективе – окончание строительства установок коксования в Ачинске и Перми.

Продуктами процесса замедленного коксования являются нефтяной кокс, непредельный газ, бензин коксования и керосино-газойлевые фракции, которые, после гидрооблагораживания и очистки, являются компонентами товарных моторных топлив. Варьирование технологических параметров процесса позволяет регулировать выход его продуктов и в некоторой степени влиять на их углеводородный состав и свойства.

Несмотря на то, что потребность производителей алюминия в нефтяном коксе весьма велика, многие предприятия переводят установки коксования на преимущественный выпуск жидких дистиллятных продуктов. Ежегодное увеличение количества автомобильного транспорта, разветвленная сеть автомобильных дорог также подтверждают возрастающую потребность в моторных топливах.

Крупнейшие отраслевые предприятия Восточной Сибири получают сырье по системе трубопроводов АК «Транснефть» и железнодорожным транспортом. Подавляющее большинство российских НПЗ перерабатывают западносибирскую нефть.

В то же время статистика Министерства топлива и энергетики РФ однозначно указывает на ежегодное сокращение нефтеотдачи на месторождениях Западной Сибири (располагающей несоизмеримо большим фондом скважин); при этом объем добычи нефти на новых месторождениях Восточной Сибири и Дальнего Востока характеризуется положительной динамикой роста среднего дебита скважин. Перспективные возможности добычи нефти Восточной Сибири и Дальнего Востока позволят гарантированно удовлетворить спрос на нефть и природный газ в этом регионе на ближайшие 30 лет, обеспечивать поставки как российским потребителям, так и на экспорт в страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Вопрос перехода НПЗ восточносибирского региона на новое сырье становится все более актуальным. Показатели материального баланса процессов нефтепереработки и свойства получаемых продуктов напрямую зависят от качества поступающего на установку сырья. В связи с этим исследование процесса коксования тяжелых остатков нефтей Восточной Сибири и Дальнего Востока позволит оценить перспективы их использования в качестве сырья для существующих НПЗ и строящихся на них установок замедленного коксования (УЗК).

### Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали остаток после вакуумной перегонки до температуры

500°C (в пересчете на атмосферное давление) следующих нефтей Восточной Сибири и Дальнего Востока: нефть Ванкорского (ВМ) и Юрубчено-Тохомского месторождений (ЮТМ) и смесевая нефть о. Сахалин. В качестве образца для сравнения использовалась товарная западносибирская нефть, поступающая на Ачинский НПЗ. Технические характеристики полученных прямогонных остатков представлены в таблице.

Эксплуатационные показатели гудрона определяли по стандартизованным для данного нефтепродукта методикам. Углеводородный состав гудрона определен по методу SARA в двух хроматографических колонках с глинистой и алюмосиликатной насадками. Асфальтены были получены осаждением n-гептаном в атмосфере азота под давлением 25 кг/см<sup>2</sup>.

Эксперименты по коксованию гудрона проводили на лабораторной установке, состоящей из камеры коксования из нержавеющей стали, пароводяных трубок, сборников дистиллятных и газообразных продуктов, схема лабораторной установки представлена на рисунке.

Навеску сырья коксования помещали в реактор 1, герметично закрывали крышкой, снабженной пароводяной трубкой 5, и помещали в муфельную печь 4. Отвод пароводяной трубки соединяли со сборником дистиллятных продуктов коксования 6. Сборник помещали в охлаждающую баню, для лучшего разделения газообразных и жидких продуктов термической деструкции и для предотвращения реакций окисления и конденсации. Выделяющиеся газы собирали в газовую пипетку.

Процесс коксования проводили при атмосферном давлении, в диапазоне температур от 480 до 520°C с шагом 10°C, продолжительность изотермической выдержки – 5 часов.

Образовавшиеся жидкие продукты коксования подвергали дистилляции с выделением бензиновой фракции (н.к. – 180°C), фракций легкого (180–350°C) и тяжелого газойля (350–к.к.°C).

Определение массовой доли общей серы во фракциях жидких продуктов коксования проводилось с использованием метода энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии на портативном приборе MiniPal Sulfur (PANalytical).

Показатели качества прямогонных нефтяных остатков исследуемых нефтей

Наименование показателя	Гудрон западносибирской нефти	Гудрон нефти Ванкорского месторождения	Гудрон нефти ЮТМ	Гудрон из смеси сахалинских нефтей
Выход (фракция > 500°C), %	19,1	21,1	18,2	19,8
Плотность при 20°C	1004,8	931,1	896,6	925,7
Коксуемость, %	13,12	13,54	12,03	24,2
Содержание, % об:				
асфальтенов	3,5	1,9	0,8	1,6
смола	15,9	23,0	19,1	22,2
твердых парафинов	1,7	1,2	0,5	2,1
парафино-нафтеновых углеводородов	24,6	31,8	38,7	16,1
ароматических углеводородов	56,0	43,3	41,4	60,1
Содержание металлов, ppm:				
ванадия	25,1	6,97	2,53	4,96
никеля	34,9	5,48	1,88	16,41
Содержание серы, % мас.	1,350	0,266	0,232	0,861

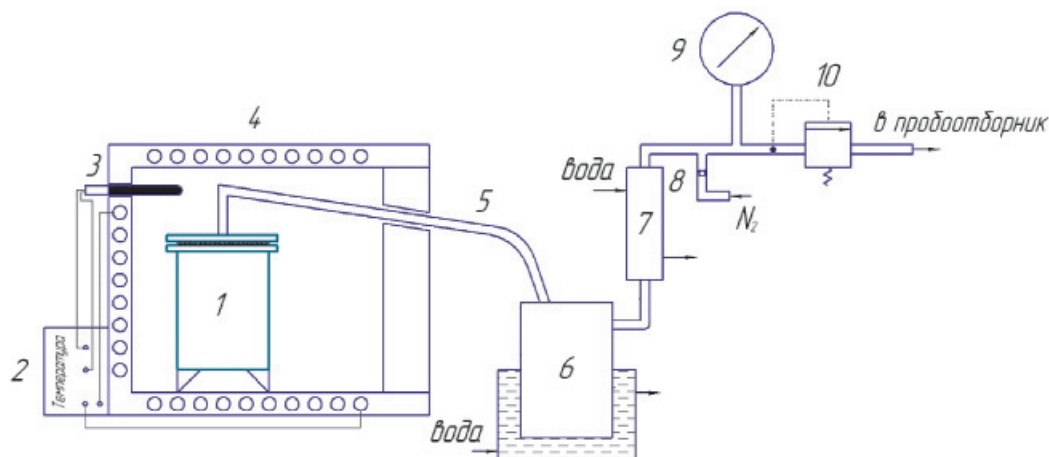


Схема лабораторной установки коксования:

- 1 – реактор; 2 – микропроцессорный контроллер температуры и дисплей;  
 3 – терморезистор; 4 – муфельная печь; 5 – пробоотборный канал; 6 – пробоприемник дистиллятных продуктов коксования; 7 – холодильник; 8 – клапан подачи азота; 9 – манометр МПТИ-1;  
 10 – газовый счетчик

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что максимальным выходом фракции гудрона (сырья замедленного коксования) характеризуются нефть ВМ (21,1 % мас.), а минимальным – нефть ЮТМ (18,2 % мас.). С точки зрения получения нефтяного кокса, наилучшим сырьем являются сахалинская нефть и нефть ВМ. Данное сырье характеризуется стабильно высоким выходом тяжелых прямгонных остатков и наибольшим, в ряду исследуемых нефтей, значением коксемости. При этом гудрон, полученный из ванкорской нефти, характеризуется низким содержанием серы, что положительно скажется на качестве производимого нефтяного кокса.

При коксовании юрубчено-тохомской и ванкорской нефтей образуется наибольшее количество газообразных продуктов, причем при повышении температуры и давления коксования выход газов существенно увеличивается.

Максимальный выход жидких продуктов наблюдается при коксовании гудрона юрубчено-тохомской и западносибирской нефтей. В пересчете на исходное сырье при коксовании западносибирской нефти образуется в среднем 13,8 % мас. жидких продуктов, ванкорской нефти – 15,1 % мас., юрубчено-тохомской – 12,8 % мас., сахалинских нефтей – 13,9 % мас.

Прослеживается взаимосвязь между содержанием парафинов в гудронах

и выходом жидких и газообразных продуктов коксования: максимальный их выход наблюдается для нефти, имеющей в своем составе наибольшее количество парафинов и нафтенов суммарно (юрубчено-тохомская). Зависимость также подтверждается минимальным выходом жидких продуктов коксования гудрона сахалинской нефти, имеющей минимальное содержание парафинов и нафтенов в составе.

Увеличению выхода дистиллятов коксования способствует повышение температуры коксования. Повышение давления и введение рециркулирующего сырья приводит к снижению выхода жидких продуктов и устойчивому увеличению выхода газообразных продуктов и нефтяного кокса для всех исследуемых нефтей. Эти зависимости справедливы для всех исследуемых нефтей. Следовательно, для получения наибольшего количества жидких продуктов коксования целесообразно проводить процесс при максимальной температуре, атмосферном давлении и без рециркуляции.

При проведении экспериментов установлено, что в предлагаемых условиях ведения процесса коксования максимальное количество дистиллятных продуктов на 1 кг перерабатываемой нефти составляет:

- для западносибирских нефтей – 145,1 г;
- для ванкорской нефти – 153,4 г;
- для юрубчено-тохомской нефти – 135,4 г;
- для сахалинских нефтей – 143,4 г.

В результате исследований установлено, что фракционный состав жидких продуктов коксования также зависит от

перерабатываемой нефти. Так, с точки зрения получения максимального количества светлых фракций наиболее перспективными являются нефть ЮТМ и западносибирская нефть. Коксование прямогонного сырья, полученного из смеси нефтей о. Сахалин, дает минимальное количество светлых топливных фракций, а выход фракций тяжелого газойля значительно превышает значение аналогичного показателя для прочих исследуемых нефтей. Увеличение давления приводит к возрастанию доли бензиновой фракции и фракции тяжелого газойля в жидких продуктах коксования. С повышением температуры процесса коксования наблюдается увеличение выхода легких фракций и снижение выхода тяжелого газойля.

По результатам проведенных экспериментов с рециркуляцией сырья можно сделать вывод, что введение рециркулянта положительно сказалось на выходе бензиновой фракции (в среднем на 0,5–1 % мас.) и фракции тяжелого газойля коксования (на 2–4 % мас.), полученных при переработке остатков всех исследуемых образцов нефтей. При этом выход нефтяного кокса также увеличился. Наиболее значительно рециркуляция влияет в тех случаях, когда исходное прямогонное сырье было изначально обеднено веществами-предшественниками коксообразования.

Массовая доля общей серы в нефтепродуктах является одним из ключевых показателей его экологичности. По содержанию соединений серы в дистиллятах коксования наиболее благоприятным составом характеризуются продукты, полученные из ванкорской и юрубчено-тохомской нефтей. Нагрузка на установки гидроочистки при переработке светлых топливных фракций этих нефтей будет минимальна. Наибольшая часть органической серы, содержащейся в сырье коксования, переходит во фракцию тяжелого газойля. Так, для тяжелого газойля коксования, полученного из гудрона смеси нефтей о. Сахалин переход серы из сырья во фракцию составляет 26 % мас., для западносибирской – 41,5 % мас., для ванкорской – 56 % мас., юрубчено-тохомской – до 68 % мас.

Такое распределение органической серы находится в зависимости от содержания парафинов в исходном сырье. В литературных источниках [3–6], показано, что чем более парафинистым является сырье, тем большая часть органической серы переходит в нефтяной кокс и тяжелые фракции.

### Заключение

В результате исследования установлено, что коксование гудрона нефтей, в составе которых содержится значительное количество асфальтенов и силикагелевых смол, приводит к получению максимального количества нефтяного кокса. Повышение давления, увеличение коэффициента рециркуляции и поддержание температуры коксования около 480 °С способствует получению максимального количества кокса. Для снижения доли органической серы, переходящей из сырья в нефтяной кокс, целесообразно использовать парафинистое сырье. Использование гудрона новых восточносибирских нефтей – нефти ЮТМ и ванкорской – в качестве сырья УЗК позволяют получить малосернистый кокс.

Выход газа при замедленном коксовании в среднем составляет 10–15 %, что в расчете на 1 млн т/год перерабатываемого на установке сырья составляет 100–150 тыс. т/год. Применение такого газа на НПЗ, работающем по топливному профилю, ограничено. В подавляющем большинстве случаев после сероочистки, совместно с прочими нефтезаводскими газами, он используется как топливо. В таком случае целесообразно оптимизировать технологические режимы работы УЗК таким образом, чтобы выход малого газа был минимальным.

Образование наибольшего количества жидких продуктов коксования происходит при использовании прямогонного сырья, полученного из нефти с высоким содержанием парафино-нафтеновых углеводородов. Также, с точки зрения получения максимального количества светлых фракций жидких продуктов целесообразно повышать температуру коксования. Несмотря на то, что повышение давления и введение коэффициента рециркуляции способствует увеличению выхода бензиновой фракции в составе жидких продуктов коксования, суммарный выход жидкой фазы снижается, особенно в случае коксования сырья, изначально обедненного веществами-предшественниками коксообразования. Эта рекомендация справедлива в особенности при переработке более парафинистых нефтей с низкой коксуемостью.

Содержание серы в продуктах коксования и ее распределение по дистиллятным продуктам процесса зависит от углеводородного состава сырья и начального содержания серы. Введение вторичного сырья благоприятно сказывается на содержании серы в дистиллятах коксования.



Светлые топливные фракции жидких продуктов коксования, получаемых при переработке тяжелых нефтяных остатков, характеризуются повышенным содержанием соединений серы и олефиновых углеводородов. Содержание олефинов в бензинах коксования достигает значения в 40% и выше, а в легком газойле – 30%. Содержание серы в топливных дистиллятах коксования в среднем в 5–10 раз выше, чем в прямогонных фракциях аналогичного фракционного состава.

Накопление и хранение вторичных дистиллятов возможно лишь при недопущении контакта их с кислородом воздуха, в противном случае это приведет к быстрому коксоотложению на катализаторе гидроочистки и на инертных материалах (фарфоровых шарах), металлических верхних внутренних устройств внутри реактора [6, 10], быстрому повышению перепада давления в реакторе и ускоренной дезактивации катализатора гидроочистки и остановке производства [1, 7–9, 11].

Гидроочистка дистиллятных фракций позволит снизить количество олефиновых углеводородов во фракциях жидких продуктов коксования и очистить их от нежелательных гетероатомных соединений [7, 8, 10, 11]. С целью снижения негативного влияния экзотермических реакций гидрирования ненасыщенных соединений, коррозионной активности соединений серы и смолообразования рекомендуется совместная гидроочистка бензинов коксования и прямогонной дизельной фракции, а также фракции легкого газойля коксования с прямогонной дизельной фракцией.

Наиболее рациональным вариантом переработки продуктов коксования на НПЗ топливного профиля является схема, сочетающая в себе процесс замедленного коксования и гидрокрекинга. Гидрокрекинг позволяет использовать в качестве сырья как легкие, так и тяжелые фракции жидких продуктов коксования, так как в ходе процесса даже тяжелый газойль коксования переходит в легкие дистилляты. Очевидно преимущество процесса гидрокрекинга для переработки жидких продуктов коксования по сравнению с каталитическим крекингом, так как в ходе первого происходит насыщение кратных связей непредельных соединений, и стоимость катализаторов для первого процесса ниже, чем для второго.

Мазут с установки атмосферной перегонки нефти подается на вакуумную

колонну, где разделяется на гудрон – сырьё процесса коксования, вакуумный газойль, а также образуется дополнительное количество дизельной фракции утяжеленного фракционного состава. Жидкие продукты коксования (бензин, легкий и тяжелый газойль), так же как и другие фракции вакуумной перегонки мазута, могут направляться на установку гидрокрекинга, где происходит гидрирование ненасыщенных связей и удаление гетероатомных соединений. После гидрооблагораживания топливные фракции гидрокрекинга направляются на компаундирование либо на переработку для улучшения эксплуатационных показателей (риформинг). Углеводородный газ гидрокрекинга может использоваться для производства водорода методом паровой конверсии. Газообразные продукты коксования после сероочистки направляются в топливную сеть предприятия, а сероводородный газ – на производство гранулированной серы.

#### Список литературы

1. Берг Г.А., Теляшев Г.Г. Облагораживание бензинов от термических процессов // Химия и технология топлив и масел. – 1986. – № 9. – С. 20–23.
2. Глаголева О.Ф. Состояние и развитие процесса коксования в мире и в России // Экологический вестник России. – 2010. – № 8. – С. 2–10.
3. Зольников В.В., Жирнов Б.С., Хайрудинов И.Р. Влияние сырья на основные качественные показатели малосернистого кокса // Технологии нефти и газа. – 2010. – № 2. – С. 7–10.
4. Зольников В.В., Жирнов Б.С., Хайрудинов И.Р. Получение малосернистого и малозольного кокса из тяжелой смолы пиролиза // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2006. – № 8. – С. 15–17.
5. Калинин А.А., Калинин А.А. Возможные направления совершенствования переработки нефти в России // Проблемы прогнозирования. – 2008. – № 1. – С. 73–91.
6. Микишев В.А., Сливкин Л.Г. Гидроочистка бензина коксования // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2003. – № 8. – С. 15–18.
7. Патент РФ № 2147597 Логинова А.Н., Шарихина М.А., Томина Н.Н., Шафранский Е.Л., Олтырев А.Г., Власов В.Г., Китова М.В. Способ каталитического облагораживания продуктов термических процессов // Патент России № 2147597.1998. Бюл. № 11.
8. Патент РФ 2051950 Мощенко Г.Г., Ливенцев В.Т., Брондз Б.И., Серков В.А., Расветалов В.А., Худайдагова Л.Б., Нестеров И.Д., Окунев Е.Б., Ахунов З.М. Способ стабилизации бензина коксования // Патент России № 2051950.1996. Бюл. № 1.
9. Солманов П.С., Максимов Н.М., Еремина Ю.В., Жилкина Е.О., Дряглин Ю.Ю., Томина Н.Н. Гидроочистка смесей дизельных фракций с бензином и легким газойлем коксования // Нефтехимия. – 2013. – Т. 53. – № 3. – С. 199–202.
10. Тереньгев М. О гидроочистке газойля // Оборудование и технологии нефтегазового комплекса. – 2008. – № 5. – С. 49–53.

11. Хавкин В.Т., Галиев Р.Г., Гуляева Л.А., Пугач И.А. О гидрогенизационной переработке нефтяных остатков // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2009. – № 3. – С. 15–19.

12. Хайрудинов И.Р., Тихонов А.А., Мустафина С.А., Теляшев Э.Г. Пути увеличения производства малосернистого кокса из остатков западно-сибирских нефтей на примере ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» // Башкирский химический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 4. – С. 139–144.

13. Valyavin G.G., Taushev V.V. Production of Low-Sulfur Electrode Coke from Medium-Sulfur Petroleum Resids // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 1999. – Vol. 35. – № 5. – P. 277–281.

### References

1. Berg G.A., Telyashev G.G. Oblagorazhivanie benzinov ot termicheskikh processov // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. 1986. no. 9. pp. 20–23.

2. Glagoleva O.F. Sostoyanie i razvitie processa koksovaniya v mire i v Rossii / O.F. Glagoleva // ENkologicheskij vestnik Rossii. 2010. no. 8. pp. 2–10.

3. Zolnikov V.V., ZHirnov B.S., Hajrudinov I.R. Vliyanie syrya na osnovnye kachestvennye pokazateli malosernistogo koksa // Tekhnologii nefiti i gaza. 2010. no. 2. pp. 7–10.

4. Zolnikov V.V., ZHirnov B.S., Hajrudinov I.R. Poluchenie malosernistogo i malozolnogo koksa iz tyazhelej smoly piroliza // Neftepererabotka i neftekhimiya. 2006. no. 8. pp. 15–17.

5. Kalinin A.A., Kalinin A.A. Vozmozhnye napravleniya sovershenstvovaniya pererabotki nefiti v Rossii // Problemy prognozirovaniya. 2008. no. 1. pp. 73–91.

6. Mikishev V.A., Slivkin L.G. Gidroochistka benzina koksovaniya // Neftepererabotka i neftekhimiya. 2003. no. 8. pp. 15–18.

7. Patent RF no. 2147597 Loginova A.N., Sharihina M.A., Tomina N.N., Shafranskij E.L., Olytyrev A.G., Vlasov V.G., Kitova M.V. Sposob kataliticheskogo oblagorazhivaniya produktov termicheskikh processov // Patent Rossii no. 2147597.1998. Byul. no. 11.

8. Patent RF 2051950 Moshchenko G.G., Livencev V.T., Bronz B.I., Serkov V.A., Rasvetalov V.A., Hudajdatova L.B., Nesterov I.D., Okunev E.B., Ahunov Z.M. Sposob stabilizacii benzina koksovaniya // Patent Rossii no. 2051950. 1996. Byul. no. 1.

9. Solmanov P.S., Maksimov N.M., Eremina YU.V., ZHilkina E.O., Dryaglin YU.YU., Tomina N.N. Gidroochistka smesey dizelnyh frakcij s benzinom i legkim gazojlem koksovaniya // Neftekhimiya. 2013. Vol. 53. no. 3. pp. 199–202.

10. Terentev M. O gidroochistke gazojlya // Oborudovanie i tekhnologii neftegazovogo kompleksa. 2008. no. 5. pp. 49–53.

11. Havkin V.T., Galiev R.G., Gulyaeva L.A., Pugach I.A. O gidrogenizacionnoj pererabotke neftyanyh ostatkov // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanij. 2009. no. 3. pp. 15–19.

12. Hajrudinov I.R., Tihonov A.A., Mustafina S.A., Telyashev E.H.G. Puti uvelicheniya proizvodstva malosernistogo koksa iz ostatkov zapadno-sibirskih neftej na primere ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» // Башкирский химический журнал. 2009. Vol. 16. no. 4. pp. 139–144.

13. Valyavin G.G., Taushev V.V. Production of Low-Sulfur Electrode Coke from Medium-Sulfur Petroleum Resids // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 1999. Vol. 35. no. 5. pp. 277–281.