

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И ГАЗА

DOI: 10.15593/2224-9400/2021.2.11

УДК 665.662.3, 665.64

**А.Н. Чудинов, Д.В. Першин, Д.Г. Сорочан,
Д.С. Ахрамеев**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦИИ ГУДРОНА n-ПЕНТАНОМ И ИХ ПРЕВРАЩЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ FCC

Одним из направлений развития нефтеперерабатывающей промышленности на сегодняшний день является дальнейшее углубление переработки нефти с вовлечением более тяжелых вакуумных дистиллятов и нефтяных остатков.

Каталитический крекинг (КК) является основным процессом, направленным на углубление переработки нефти, а также в значительной мере определяет технико-экономические показатели передовых и перспективных нефтеперерабатывающих заводов топливного профиля.

Технологии КК постоянно совершенствуются. Например, в связи с введением жестких ограничений по содержанию серы в бензинах и дизельных топливах возникает необходимость в предварительной подготовке сырья и посточистка получаемых продуктов.

Некоторые компоненты сырья КК, такие как азотистые основания, соединения металлов, смолистые вещества и др. отравляют катализаторы, что негативно влияет на эффективность процесса: резко уменьшается выход целевых продуктов, существенно ухудшаются экономические показатели.

Среди существующих способов подготовки сырья КК наиболее широкое распространение получили гидрогенизационная очистка, деасфальтизация, очистка селективными растворителями, адсорбционная очистка.

В данной статье представлены результаты исследования деасфальтизации гудрона n-пентаном и превращения полученных продуктов в процессе каталитического крекинга FCC. В рамках этой работы был выполнен ряд анализов для определения основных характеристик деасфальтизатов, полученных при различных соотношениях: содержание смолисто-асфальтеновых веществ и серы, плотность, коксусемость по Конрадсону и групповой углеводородный состав.

Ключевые слова: каталитический крекинг, деасфальтизация, гудрон, n-пентан.

**A.N. Chudinov, D.V. Pershin, D.G. Sorochan,
D.S. Akhrameev**

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

VACUUM RESIDUE N-PENTANE-DEASPHALTING PRODUCTS INVESTIGATION, AND DEASPHALTED OIL CONVERSION IN THE FCC PROCESS

One of the modern trends in the oil refining industry is conversion of heavy vacuum gasoil and vacuum residues with production low-boiling distillates and hydrocarbon gases, which allows increasing oil refining depth.

Fluid catalytic cracking (FCC) is the most important conversion process used in petroleum refineries to convert the high-boiling feedstock constituents to more valuable naphtha, olefin gases, as well as other products and is likely to remain predominant in the refining industry for at least another three-to-five decades.

Modern ecological requirements make a challenge for FCC technologies development. To produce transportation fuels which meet environmental restrictions and operation specifications FCC feed and products should be respectively pre- and post treated.

FCC feeds can contain sulfur and nitrogen compounds, resins, asphaltenes, metallocenes. All of them are contaminants decreasing catalyst efficiency, which results in lowering yields of naphtha and other target products.

Hydrotreating is the most popular process to improve feed quality. Beside the hydroprocessing other feed pretreatment techniques can be used: distillation, thermal treatment methods, deasphalting, selective solvent extraction, adsorption, and sulfur acid treatment.

The possibility of FCC feedstock obtaining via deasphalting of vacuum residue with n-pentane was investigated in this paper. Deasphalted oils composition and properties were analyzed, and FCC conversion of deasphalting products was carried out.

Keywords: *fluid catalytic cracking, deasphalting, vacuum residue, n-pentane.*

В качестве сырья в процессе каталитического крекинга в течение многих десятилетий традиционно использовали вакуумный дистиллят (газойль) широкого фракционного состава (350–500 °С) [1–3]. В ряде случаев в сырье крекинга вовлекаются газойлевые фракции термодеструктивных процессов, гидрокрекинга, рафинаты процессов деасфальтизации мазутов и гудронов, полупродукты масляного производства и др. [4].

В остатках от перегонки нефти (гудронах, концентратах, полугудронах) наряду с высокомолекулярными углеводородами, представляющими определенную ценность для дальнейшей переработки, содержится большое количество смолисто-асфальтеновых веществ (САВ). В силу высокой коксогенной способности и содержания значительных количеств

соединений, являющихся ядами катализаторов, отделение углеводородной составляющей гудрона от САВ становится одной из важных задач в технологии очистки и переработки нефтяных фракций [5].

Известны несколько вариантов подготовки сырья каталитического крекинга, которые можно разделить на две группы: первая – процессы, проводимые с использованием водорода, вторая – процессы без использования водорода. К первой относятся гидроочистка, различные виды гидрокрекинга. К процессам без использования водорода – висбрекинг, коксование, деасфальтизация и селективная очистка с помощью растворителей. Выбор того или иного процесса подготовки сырья зависит от его исходного качества, необходимой глубины его очистки и определяется технико-экономическими показателями [6].

Для облагораживания сырья крекинга из остаточных нефтепродуктов в большинстве случаев используют процесс деасфальтизации. Основная цель данного процесса – удаление САВ и полициклических ароматических углеводородов с повышенной коксуемостью. Метод основан на различной растворимости компонентов гудрона в выбранном растворителе [7]. Обычно углеводородная часть удаляется вместе с неполярным растворителем, а САВ выделяются в отдельную фазу и выпадают в осадок.

В качестве растворителей обычно используются низкомолекулярные алканы, такие как пропан, н-бутан, н-пентан, а также их смеси. В промышленной практике широко применяются процессы деасфальтизации гудрона техническим пропаном – для получения компонентов масел. Также при деасфальтизации применяется легкий бензин, состоящий в основном из н-пентана, для облагораживания сырья процессов вторичной переработки [8].

С ростом температуры кипения углеводорода увеличивается его растворяющая способность, но снижается селективность. В результате чего в раствор помимо углеводородных компонентов переходит и некоторое (иногда значительное) количество высокомолекулярных продуктов (ароматики и смол). Выход деасфальтизата при этом увеличивается, а качество его ухудшается. Тем не менее во всех случаях при деасфальтизации почти полностью удаляются асфальтены, а вместе с ними и часть металлов [9].

Степень извлечения компонентов зависит от химического состава сырья и расхода растворителя, определяемого сочетанием его растворяющей способности и избирательности. С повышением температур-

ных пределов выкипания нефтяных фракций в них увеличивается содержание полициклических ароматических и нафтоароматических углеводородов, а также смол и гетероатомных соединений, подлежащих удалению. В связи с этим при прочих постоянных условиях расход растворителя, необходимый для очистки, увеличивается по мере утяжеления сырья. Варьирование кратности растворителя к сырью приводит к изменениям химического состава деасфальтизата, следовательно, будут меняться и его свойства [10].

Экспериментальная часть. Объектом исследования в данной работе являлся гудрон с установки АВТ-1 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», растворитель – н-пентан.

В рамках данной работы была выполнена процедура десфальтизации гудрона н-пентаном при четырех значениях соотношения растворителя и гудрона: 3:1, 5:1, 7:1 и 10:1. Для полученных деасфальтизатов были определены коксусаемость по Конрадсону, плотность, содержание серы, количество остаточных смол и асфальтенов, групповой углеводородный состав.

Экстрактивная очистка образцов гудрона от асфальтенов. Для определения содержания асфальтенов и удаления их из гудрона использовался экстракционный аппарат, представленный на рис. 1.

Методика определения содержания асфальтенов подробно описана в работе [11]. Содержание асфальтенов (мас. %) от исходного образца вычисляют по формуле

$$X = \frac{g}{G} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где X – содержание асфальтенов, мас. %; g – полученная масса асфальтенов, г; G – навеска нефтепродукта, г.

Полученные асфальтены должны быть хрупкими и блестящими, черно-коричневого цвета. Матовый и мазеобразный вид асфальтенов свидетельствует о присутствии в них масел и парафинов [11].

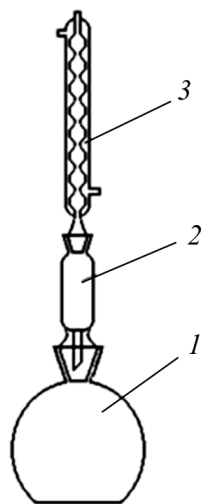


Рис. 1. Установка для проведения процесса деасфальтизации: 1 – колба, 2 – экстрактор, 3 – холодильник

Адсорбционная очистка деасфальтизата от смолисто-асфальтеновых веществ. Для выполнения анализа фракционного и группового состава хроматографическими методами необходимо провести очистку образцов деасфальтизатов от смол и остаточных асфальтенов с помощью адсорбционных методов. В качестве адсорбентов в данной работе был использован оксид кремния.

В стеклянную колонку насыпают предварительно прокаленный адсорбент (оксид кремния) и заливают 10 мл гексана, после чего через колонку пропускают пробу деасфальтизата в гексане. Для полноты извлечения очищенной пробы адсорбент промывают гексаном и продувают воздухом. Полученный таким образом продукт собирают в предварительно взвешенный на аналитических весах стаканчик, отделяют от н-пентана выпариванием и определяют его массу. По разнице масс исходной пробы и полученной после очистки вычисляют массовое содержание смол и асфальтенов в образце по следующей формуле:

$$X = \frac{g_1 - g_2}{g_1} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где X – содержание смол, мас. %; g_1 – исходная масса пробы, г; g_2 – полученная масса рафината, г.

Анализ фракционного состава образцов деасфальтизата. Фракционный состав определяли методом имитированной дистилляции на газовом хроматографе Agilent 7890В, снабженном капиллярной колонкой (длина 5 м, внутренний диаметр 53 мкм) и пламенно-ионизационным детектором в соответствии с ASTM D7213, в качестве газа-носителя использовали гелий марки 5.0.

Анализ группового состава образцов деасфальтизата. Определение группового состава было выполнено с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Prostar 210 фирмы «Varian» с использованием колонки VarianMicrosorb 100-5 Amino 250x4,6 мм (силикагель с привитыми аминопропильными группами), расход элюента (н-гексан) – 1,0 мл/мин. Концентрация раствора анализируемого вещества в н-гексане порядка 0,1 мас. %.

Детектирование осуществлялось с помощью ультрафиолетового (УФ) детектора и детектора по светорассеиванию (СР).

Определение коксуетости. Содержание коксового остатка (коксуетость по Конрадсону) определяли методом ASTM D 4530-07 с помощью микроанализатора NMC440 (Normalab).

Содержание серы в исследуемых образцах гудрона и деасфальтизатов определяли в соответствии с ГОСТ ISO 8754–2013 на рентгенофлуоресцентном спектрометре ElvaX.

Измерение плотности образцов гудрона и деасфальтизатов осуществляли пикнометрически, в соответствии с ГОСТ 3900–85 «Нефть и нефтепродукты, методы определения плотности».

Превращение образца деасфальтизата в процессе FCC проводили на лабораторной установке ACE R+ при температуре 527 °С при соотношении катализатор:сырье, равном 4,5 и 6,0. Анализ продуктов крекинга осуществляли методами газовой хроматографии. Степень конверсии сырья рассчитывали как сумму выходов сухого газа (H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄), фракции C₃ (пропан, пропилен), фракции C₄ (бутаны, бутены), бензина (н.к. – 210 °С) и кокса.

Результаты и их обсуждение. Оценить влияние соотношения растворитель:гудрон на количество извлекаемых из гудрона асфальтенов можно по графику, представленному на рис. 2.

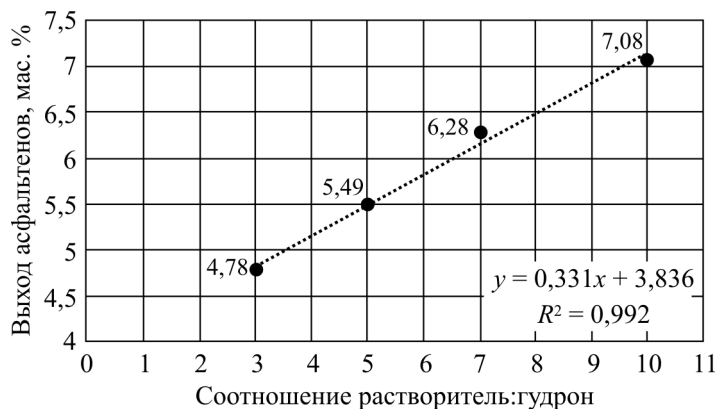


Рис. 2. Зависимость выхода асфальтенов от соотношения растворитель:гудрон

С увеличением кратности растворитель:гудрон линейно возрастает выход асфальтенов, что способствует улучшению качества деасфальтизатов. В частности наблюдается снижение коксуемости деасфальтизатов с 9,74 мас. % для соотношения 3:1 до 7,98 мас. % для соотношения 10:1 (рис. 3), что связано с лучшим удалением коксогенных компонентов.

Содержание серы (мас. %) в исходном гудроне и деасфальтизатах:	
гудрон.....	1,76
деасфальтизат 5:1.....	1,75
деасфальтизат 7:1.....	1,74

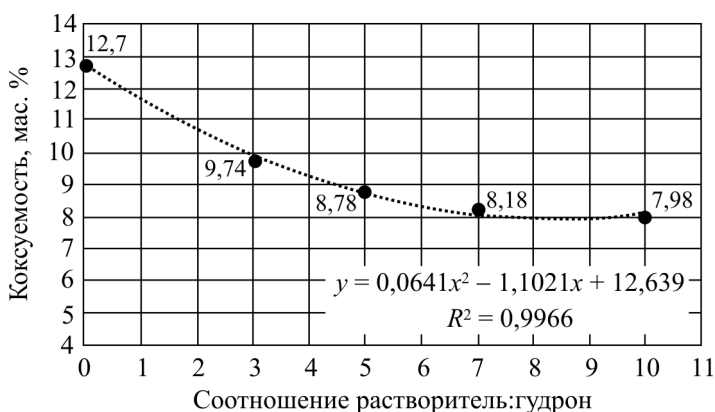


Рис. 3. Влияние соотношения растворитель:гудрон на коксуемость получаемых деасфальтизатов

Содержание серы в деасфальтизатах с повышением кратности практически не меняется, т.е. основная часть серосодержащих соединений, по-видимому, не связана с асфальтенами и отделяется вместе с углеводородной составляющей гудрона.

Значения плотности исходного гудрона и деасфальтизатов, кг/м ³ .	
гудрон	972,6
деасфальтизат 3:1	962,4
деасфальтизат 5:1	947,8
деасфальтизат 7:1	940,5
деасфальтизат 10:1	898,5

Из представленных данных видно, что с повышением кратности растворителя к гудрону снижается плотность получаемых деасфальтизатов. Снижение плотности связано с удалением наиболее тяжелых компонентов – асфальтенов.

Согласно классификации сырья каталитического крекинга, представленного в табл. 1, деасфальтизаты, полученные при значениях соотношения растворитель:гудрон 5:1 и 7:1, можно отнести ко II группе – сырье среднего качества, не требующее дополнительной подготовки [12].

Таблица 1

Классификация остаточного сырья каталитического крекинга [12]

Показатель	Тип сырья			
	I	II	III	IV
Плотность при 20 °С, кг/м ³	Менее 930	930–970	Более 970	–
Коксуемость по Конрадсону, мас. %	Менее 5	5–9	9–20	Более 20
Содержание серы, мас. %	0,2–1,5	1,5–3,0	3,0–4,1	–

Важным параметром сырьевых компонентов FCC является их групповой углеводородный состав. Наилучшим сырьем для каталитического крекинга являются высокопарафинистые фракции [13], поскольку именно они легче всего вступают в реакции расщепления. Ароматические углеводороды являются нежелательным компонентом, так как участвуют в процессах деалкилирования и уплотнения, в результате чего повышаются выходы сухого газа и кокса [14, 15].

На рис. 4 представлены результаты очистки проб деасфальтизаторов на оксидах алюминия и кремния. Более высокие значения количества адсорбированных компонентов на Al_2O_3 в сравнении с силикагелем можно объяснить большей полярностью оксида алюминия, в силу чего на нем помимо смол и асфальтенов сорбируются и менее высокомолекулярные полициклические арены.

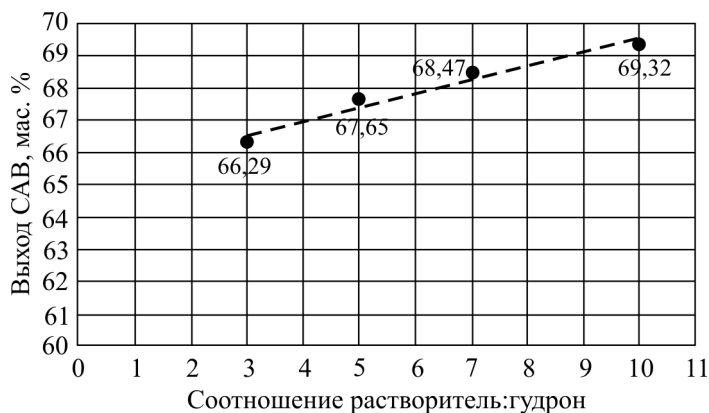


Рис. 4. Количество САВ, выделенное из деасфальтизаторов путем адсорбции на оксиде кремния

Результаты определения фракционного состава деасфальтизаторов после их адсорбционной очистки на оксиде кремния представлены в табл. 4.

Из результатов анализа видно, что фракционный состав представленных рафинатов изменяется незначительно (табл. 2). Это объясняется тем, что в результате вакуумной дистилляции нефти тяжелые коксогенные компоненты переходят в кубовый остаток и выводятся вместе с гудроном.

По своему фракционному составу продукты деасфальтизации могут быть использованы в качестве сырьевых компонентов каталитического крекинга, например, в смеси с гидроочищенным сырьем.

Результаты определения группового состава деасфальтизатов после их адсорбционной очистки на оксиде кремния представлены в табл. 3.

Таблица 2

Фракционный состав деасфальтизатов после очистки на оксиде кремния

Фракционный состав, мас. %	Соотношение растворитель:гудрон				
	Гудрон	3:1	5:1	7:1	10:1
н.к.	359,6	360,8	364,2	361,6	361,6
10	444,6	447,4	447,2	449,2	448,6
50	529,0	531,8	530,6	534,0	533,2
90	590,4	592,4	590,6	593,6	593,0
к.к	608,2	609,4	607,4	610,4	609,4

Таблица 3

Групповой углеводородный состав деасфальтизатов после очистки на оксиде кремния

Деасфальтизат	Углеводородный состав, мас. %, при соотношении растворитель:гудрон	
	5	7
Парафино-нафтеновые углеводороды	83,3	84,0
Моно- и бициклические арены	8,5	7,3
Трициклические арены	8,2	8,7
Полициклические арены	0,0	0,0

Из данных, представленных в табл. 3, следует, что при повышении кратности растворителя к гудрону в процессе деасфальтизации снижается содержание ароматических структур.

Было исследовано превращение деасфальтизата, полученного при соотношении растворитель:гудрон 7:1, в процессе FCC. В силу относительно высокой коксогенной способности самого деасфальтизата данный образец был разбавлен гидроочищенным вакуумным газойлем в соотношении 1:1. Процесс крекинга осуществлялся при соотношениях катализатор:сырье 4,5 и 6,0. Степень конверсии и состав полученных продуктов крекинга представлены в табл. 4.

На основании полученных результатов можно утверждать, что при крекинге смеси деасфальтизата с гидроочищенным вакуумным газойлем достигается относительно высокая степень конверсии сырья, при этом выход бензиновой фракции составляет 48–49 мас. % (см.

табл. 4). По количеству образующихся целевых продуктов (бензин, пропилен, бутаны, бутены) исследуемая сырьевая смесь вполне сопоставима с вакуумными дистиллятными фракциями.

Таблица 4

Материальный баланс процесса FCC

Показатель	Соотношение катализатор:сырье	
	4,5	6,0
Степень конверсии, %	76,45	78,52
Выход продукта, мас. %		
Сухой газ, в т.ч.	2,09	2,41
водород	0,12	0,15
метан	0,78	0,90
этан	0,55	0,61
этилен	0,64	0,75
Фракция C ₃ , в т.ч.	6,74	7,37
пропан	1,11	1,40
пропилен	5,63	5,97
Фракция C ₄ , в т.ч.	11,03	11,84
бутен-1	1,33	1,31
изобутилен	1,85	1,65
бутен-2	3,16	3,14
бутан	0,89	1,08
изобутан	3,81	4,66
Бензин (н.к.–210 °С)	49,11	48,40
Фракция ЛГ (210–360 °С)	14,96	14,11
Фракция ТГ (>360 °С)	8,59	7,37
Кокс	7,49	8,50
Итого	100,0	100,0

Увеличение соотношения катализатор:сырье способствует повышению конверсии сырья, также возрастают выходы пропилена и углеводородов C₄, количество бензиновой фракции при этом несколько снижается.

Выводы. На основании полученных данных можно утверждать следующее:

1. Деасфальтизация гудрона н-пентаном позволяет получать потенциальные сырьевые компоненты для процесса каталитического крекинга в псевдооживленном слое.

2. Увеличение кратности растворитель:гудрон позволяет повысить качество получаемых деасфальтизатов (коксуемость, содержание полициклических аренов снижаются).

3. Деасфальтизаты, полученные при соотношении растворитель:гудрон, равном 5:1 и 7:1, по своим параметрам могут быть отнесены к сырью среднего качества, которое не требует дополнительной подготовки.

4. Значения степени конверсии и выходов целевых продуктов крекинга смеси деасфальтизата 7:1 и гидроочищенного вакуумного газойля получаются близкими к параметрам, получаемым при крекинге вакуумных дистиллятных фракций.

Работа выполнена с использованием оборудования НОЦ FCC ПНИПУ.

Список литературы

1. Иванова М.А., Самарина И.А. Экономика, организация труда и управления в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – М.: Химия, 1987. – 176 с.

2. Chang Samuel Hsu, Paul R. Robinson. Springer Handbook of petroleum Technology. – Springer International Publishing AG, 2017. – 1238 p.

3. Масагутов Р.М. Алумосиликатные катализаторы и изменение их свойств при крекинге нефтепродуктов. – М.: Химия, 1975. – 272 с.

4. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учеб. пособие. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.

5. Черножуков Н.И. Технология переработки нефти и газа. Ч. 3. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов / под ред. А.А. Гуреева и Б.И. Бондаренко. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1978. – 424 с.

6. Каминский Э.Ф., Хавкин В.А. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. – М.: Техника, 2001. – 384 с.

7. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: учеб. пособие / С.А. Ахметов, Т.П. Сериков, И.Р. Кузеев, М.И. Баязитов; под ред. С.А. Ахметова. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.

8. Промышленный катализ в лекциях / под ред. А.С. Носкова. – М.: Калвис, 2006. – Вып. 5. – 128 с.

9. Конь М.Я., Зелькинд Е.М., Шершун В.Г. Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность за рубежом: справ. пособие. – М.: Химия, 1986. – 184 с.

10. Казакова Л.П., Крейн С.Э. Физико-химические основы производства нефтяных масел. – М.: Химия, 1978 – 320 с.

11. Кудинов А.В., Старкова Н.Н., Рябов В.Г. Анализ нефти и нефтепродуктов: лаб. практик. – Ч. 2. Специальные методы анализа / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1999. – 43 с.

12. Лихтерова Н.М. Технология глубокой переработки нефти. Ч. I. Термокаталитические процессы: учеб. пособие / МИТХТ им. М.В. Ломоносова. – М., 2004 – 64 с.

13. Капустин В. М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти: в 2 ч. – Ч. 2. Деструктивные процессы. – М.: КолосС, 2008. – 334 с.

14. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора. – СПб., 2014. – 383 с.

15. Способ деасфальтизации нефтяных остатков: пат. 2395561, МПК С 10 G21/28 / Осинцев А.А., Зиганшин К.Г., Янбаев С.П., Султанов Ф.М., Зиганшин Г.К. – 2009122294/04; заявл. 10.06.2009; опубл. 27.07.2010, Бюл. № 21.

References

1. Ivanova M.A., Samarina I.A. *Ekonomika, organizatsiia truda i upravleniia v neftepererabatyvaiushchei i neftekhimicheskoi promyshlennosti* [Economics, labor organization and management in the oil refining and petrochemical industries]. Moscow, Khimiia, 1987, 176 p.

2. Chang Samuel Hsu, Paul R. Robinson. Springer handbook of petroleum Technology. Springer International Publishing AG 2017, 1238 p.

3. Masagutov Rafat Mazitovich. *Alumosilikatnye katalizatory i izmenenie ikh svoistv pri krekinge nefteproduktov* [Aluminosilicate catalysts and changes in their properties in the cracking of petroleum products]. Moscow, Khimiia, 1975, 272 p.: il.: 22 sm.

4. Akhmetov S.A. *Tekhnologiiia glubokoi pererabotki nefi i gaza* [The technology of deep processing of oil and gas]. Ufa, Gilem, 2002, 672 p.

5. Chernozhukov N.I. *Tekhnologiiia pererabotki nefi i gaza. Chast 3. Ochistka i razdelenie nefianogo syr'ia, proizvodstvo tovarnykh nefteproduktov* [Purification and separation of oil raw materials, production of commercial petroleum products]. 6th ed. Ed. A. A. Gureeva, B. I. Bondarenko. Moscow, Khimiia, 1978, 424 p., il.

6. Kaminskii E.F., Khavkin V.A. *Glubokaia pererabotka nefi: tekhnologicheskii i ekologicheskii aspekty* [Deep refining of oil: technological and environmental aspects] Moscow, Tekhnika, 2001, 384 p.

7. Akhmetov S.A., Serikov T.P., Kuzeev I.R., Baiazitov M.I. *Tekhnologiiia i oborudovanie protsessov pererabotki nefi i gaza* [Technology and equipment of oil and gas processing processes]. Ed. Ahmetov S. A. Saint Petersburg, Nedra, 2006, 868 p.

8. Noskov A.S. *Promyshlenniye kataliz v lektiiaakh* [Industrial catalysis in lectures]. Iss. 5 Moscow, Kalvis, 2006, 128 p.

9. Kon' M. Ia., Zel'kind E.M., Shershun V. G. *Neftepererabatyvaiushchaia i neftekhimicheskaiia promyshlennost' za rubezhom* [Oil refining and petrochemical industry abroad]. Moscow, Khimiia, 1986, 184 p.

10. Kazakova L.P., Krein S.E. Fiziko–khimicheskie osnovy proizvodstva neftiannykh masel [Physicochemical basis of petroleum oils production]. Moscow, Khimiia, 1978, 320 p.

11. Kudinov A.V., Starkova N.N., Riabov V.G. Analiz nefi i nefteproduktov. Laboratornyi praktikum dlia stud. spets. 25.04 «Khimicheskaiia tekhnologiia topliva i uglerodnykh materialov». Chast 2. Spetsial'nye metody analiza [Analysis of oil and oil products. Laboratory workshop for stud. spec. 25.04 «Chemical technology of fuel and carbon materials». Part 2. Special analysis methods] PSTU, Perm, 1999, 43 p.

12. Likhterova N.M. Tekhnologiia glubokoi pererabotki nefi. Chast 1 Termokataliticheskie protsessy [The technology of deep oil refining. Part 1 Thermocatalytic processes]. Moscow, MITHТ im. M.V. Lomonosova, 2004, 64 p.

13. Kapustin V.M., Gureev A.A. Tekhnologiia pererabotki nefi. Chast 2. Destruktivnye process [Oil refining technology. Part 2. Destructive processes] Moscow, KolosS, 2008, 334 p.

14. Zadegeidzhi R. Kataliticheskii kreking v psevdoozhizhennom sloe katalizatora [Catalytic cracking fluidized-bed catalyst], Saint Petersburg, 2014, 383 p.

15. Osintsev A.A., Ziganshin K.G., Ziganshin G.K. et al. Sposob deasfal'tizatsii neftiannykh ostatkov [Method for deasphalting oil residues]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2009122294/04 (2010).

Получено 30.04.2021

Об авторах

Чудинов Александр Николаевич (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национально-го исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: CHudinovAN@pstu.ru)

Першин Даниэль Владимирович (Пермь, Россия) – ассистент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: daniel-pershin@mail.ru).

Сорочан Дарья Геннадьевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: dashasha@gmail.com).

Ахрамеев Данил Сергеевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: akhrameev.danil@yandex.ru).

About the authors

Aleksandr N. Chudinov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: can_16@mail.ru).

Daniel' V. Pershin (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: daniel-pershin@mail.ru).

Daria G. Sorochan (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: dashasha@gmail.com).

Danil S. Akhrameev (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: akhrameev.danil@yandex.ru).