

УДК 66.061.3

НЕФТЯНЫЕ ОТХОДЫ И БИТУМИНОЗНЫЙ ПЕСЧАНИК КАК ВАЖНЫЙ ИСТОЧНИК НЕФТЕПРОДУКТОВ И ПРОБЛЕМНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

В.Ф. Хайрутдинов, Ф.М. Гумеров

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Россия
kvener@yandex.ru

Резюме: Представлены результаты использования процессов жидкостной и сверхкритической флюидной экстракции для выделения нефтепродуктов из нефтяных отходов и нефтенасыщенных (битуминозных) песчаников. В качестве экстрагента использована смесь, состоящая из 75% мас. пропана и 25% мас. бутана. Исходный нефтяной отход характеризуется отсутствием воды и содержанием механических примесей в количестве 12,05% масс. Экстракционные процессы осуществлены в температурном диапазоне 85–160°C и интервале давлений 5–50 МПа.

Ключевые слова: экстракция, пропан, бутан, нефтяной отход, песчаник, сверхкритический флюид.

Благодарности: Работа, по результатам которой выполнена статья, осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 17-48-160883.

OIL SLUDGE AND TAR SANDS AS AN IMPORTANT SOURCE OIL AND PROBLEMATIC ENVIRONMENTAL FACTORS

V.F. Khairutdinov, F.M. Gumerov

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
kvener@yandex.ru

Abstract: The paper represents the results of implementation of liquid and supercritical fluid extraction processes in order to extract oil-products from oil sludge. A mixture consisting of propane (75 wt%) and butane (25 wt%) has been applied as the extractant. Initial oil sludge is characterized by the absence of water and content of solids in an amount of 12.05% by weight. The extraction processes have been conducted in a temperature range of 85-160°C and pressure range of 5-50 MPa.

Keywords: extraction, propane, butane, oil sludge, sandstone, supercritical fluid.

Acknowledgments: The work, based on the results of which the article was carried out, was carried out with the financial support of the RFFI and the Government of the Republic of Tatarstan within the framework of the scientific project No. 17-48-160883 ".

Введение

На сегодняшний день предприятиями нефтегазового комплекса России накоплено огромное количество нефтяных отходов. По самым скромным подсчетам, ежегодное

увеличение их количества составляет около 3 млн. т [1]. Компании – владельцы нефтяных отходов непрерывно заявляют об успехах в работе по их ликвидации, уменьшении числа порывов нефтепроводов, площади нефтезагрязненных земель, увеличении затрат на экологические нужды. Однако в период с 2000 по 2009 г. площадь нефтезагрязненных почв увеличилась в 1,2 раза, акваторий поверхностных вод – в 1,16 раза, объем разливов нефтепродуктов в результате аварий нефтепроводов – в 1,53 раза. В настоящее время в области утилизации нефтяных отходов складывается парадоксальная ситуация. С одной стороны, у нефтяных компаний есть понимание необходимости заниматься переработкой отходов, с другой стороны, существующая номенклатура технологий не позволяет осуществить это грамотно и результативно. Ни одна из отдельно существующих сегодня технологий не в состоянии показать «экологический ноль». На мировом и российском экологическом рынках присутствует значительное число фирм и организаций, ставящих перед собой задачу получения из нефтяных отходов нефтесодержащей массы, которая в дальнейшем подвергалась бы переработке в товарный продукт. Технологии, используемые ими, претендуют на универсальность. Однако, как показывает практика, каждый вид нефтяных отходов имеет свою специфику, разное содержание взвешенных частиц, различный химический состав. Поэтому для решения данной экологической проблемы необходим индивидуальный комплексный подход с привлечением различных технологий, которые могли бы решить эти задачи «под ключ». К сожалению, значительная часть организаций, имеющих лицензии на работу с опасными отходами, не имеет экологически оправданных технологий. Владельцы лицензии вынуждены приобретать технологии, не имея соответствующего опыта работы. В результате зачастую отходы свозятся на полигоны, свалки ТБО и должным образом не утилизируются [2].

Среди существующих методов переработки нефтяных отходов можно выделить методы центрифугирования, жидкостной экстракции, гравитационного уплотнения, вакуумфильтрации, фильтропрессования, замораживания и др.

Из вышеизложенного следует, что обращение с нефтяными отходами является сложным и трудоемким процессом. Более того, среди применяемых технологий нет безотходных и экономически рентабельных. Применение любой из вышеперечисленных технологий приводит к выделению в атмосферу вредных веществ. Каждая из перечисленных технологий имеет собственные отходы, требующие захоронения на полигонах. И не случайно, одной из составляющих политики развития нефтегазохимического комплекса России в настоящем является модернизация существующих и внедрение новых экологически чистых технологий переработки и утилизации нефтяных шламов.

Такая же проблема характерна и для нефтенасыщенных (битуминозных) песчаников, находящихся на поверхности. С одной стороны, они являются загрязнителями атмосферы и почвы, а с другой стороны – это дополнительные ресурсы энергетики.

Потенциал нетрадиционных источников нефти – один из важнейших вопросов развития не только нефтяной отрасли, но и всей мировой энергетики. По различным оценкам ресурсы нефтяных песков, сверхтяжелой нефти и нефтяных сланцев почти пятикратно превышают запасы традиционной нефти [3].

С учетом колоссальных запасов нефтенасыщенных песчаников на территории республики, в условиях возрастающей конкуренции на энергетическом рынке, авторами данной работы подтверждена возможность внедрения на нефтеносных территориях Республики Татарстан инновационного подхода к добыче нефти из нефтяных отходов и нефтенасыщенных песчаников путем обработки сверхкритическими флюидными средами.

Сверхкритическая флюидная экстракционная (СКФЭ) технология [4–7] переработки нефтяных отходов и нефтенасыщенных песчаников, исследуемая в настоящей работе, является крайне актуальной, экологически оправданной и перспективной с точки зрения экономической целесообразности и рентабельности. Достаточно отметить, что подобный

принцип применительно к нефтяным шламам был уже реализован фирмой «ТЕХАСО» (США) в промышленном варианте [8].

Экспериментальная часть. Материалы, аппаратура и методы исследования

В качестве исходного сырья (отхода) были использованы нефтяной отход и битуминозный песчаник Спиридоновского месторождения РТ.

Некоторые свойства нефтяного отхода: содержание воды – 0 % масс.; содержание механических примесей – 12,05% масс. и нефтепродуктов – 77,95 % масс.

Битуминозный песчаник представляет собой пески от темно-буроватого до черного цвета, частично комковатые. Цементированные комочки двух типов: темные, более крупные (30–35%) и светло-серые (7–8%). Основная масса представлена мелкими песками черного цвета. Содержание нефтепродуктов до 7,23%.

В качестве экстрагента использована пропан-бутановая смесь, содержащая 75% мас. пропана и 25% мас. бутана. Критические параметры пропана и бутана, согласно [9], характеризуются следующими значениями: пропан: $T_{кр}=369,82$ К (96,67°C), $P_{кр}=4,247$ МПа; бутан $T_{кр}=425$ К (151,85°C), $P_{кр}=3,797$ МПа. Согласно работе [10] вышеприведенный состав пропан-бутановой смеси имеет следующие значения критических параметров: $T_{кр}=386$ К (~113°C); $P_{кр}=4,31$ МПа.

Принципиальная схема экспериментальной установки, позволяющей реализовывать экстракционный процесс с пропан-бутановым экстрагентом в жидком и сверхкритическом флюидном (СКФ) состояниях, показана на рис. 1.

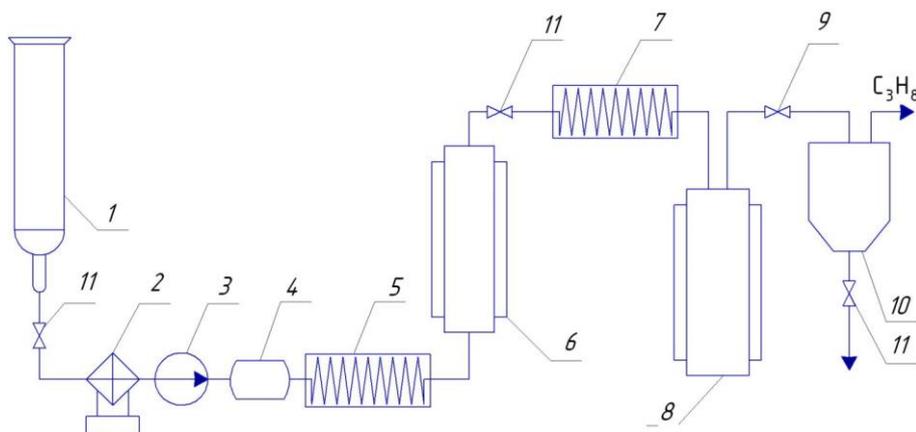


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – баллон с C_3H_8 ; 2 – холодильный агрегат; 3 – насос; 4 – ресивер; 5 – теплообменник; 6 – экстрактор; 7 – теплообменник; 8 – обогреваемый сосуд разделения; 9 – клапан регулятор; 10 – обогреваемый сепаратор; 11 – вентиль

Установка включает в себя систему создания и поддержания давления и систему регулирования и поддержания температуры.

Система создания давления состоит из баллона с C_3H_8 1 объемом 40 л, холодильного агрегата 2 фирмы *Thermo Electronic Corporation* (марки “*Neslab RTE 7*”), охлаждающего рабочие камеры насоса, плунжерного градиентного насоса фирмы *Thar Technology* 3 для подачи газа с постоянным объемным расходом в диапазоне от 0,1 до 10 мл/мин, и регулятора давления фирмы *Go-Reg* марки *BP66-1A11CJ0151*. В начальный момент времени пропан-бутановая смесь, находящаяся в рабочей камере насоса, охлаждается и конденсируется с помощью холодильного агрегата, и затем выталкивается плунжером насоса в ресивер 4. После ресивера смесь по трубкам через теплообменник 5 поступает в экстрактор 6, куда предварительно загружен песчаник. Экстрактор представляет собой сосуд высокого давления объемом 1 л. Выводимый из экстрактора (верхняя часть) жидкий

раствор деасфальтизата в пропан-бутановой смеси, пройдя через теплообменник 7, подается в сосуд разделения 8. В сосуде разделения происходит осаждение нефтепродуктов. Осаждение в рамках этой установки может быть осуществлено как посредством сброса давления, так и снижения растворяющей способности пропан-бутана посредством увеличения температуры на участке технологической схемы между теплообменником 7 и сепаратором 10, включая и то, и другое.

Соответствующие температуры в экстракторе, сосуде разделения и сепараторе поддерживаются с помощью электронагревательных рубашек с возможностями.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 показан выход нефтепродукта из нефтяного отхода в процессе экстракционного извлечения с использованием пропан-бутанового экстрагента в широком диапазоне изменения режимных параметров (P , T , τ) осуществления процесса. Относительная погрешность экспериментальных данных по выходу нефтепродукта из нефтяного отхода в процессе экстракционного извлечения изменяется в диапазоне 5,4 – 8,3%. Поскольку результативность экстракционного извлечения определяется растворимостью извлекаемых компонентов в экстрагенте в условиях осуществления процесса, то дальнейшее обсуждение характера изменения выхода продукта будет основано именно на представлениях о растворимости веществ. При этом вышесотмеченное имеет силу и для случаев, когда растворенная субстанция представляет собой смесь, состав которой меняется в зависимости от условий осуществления экстракционного процесса. Учитывая, что исследования растворимости даже чистых веществ в растворителях, меняющих свое состояние от жидкого, включая субкритическое, до сверхкритического флюидного, крайне редки, то приведем результаты исследования поведения растворимости нафталина в диоксиде углерода, находящемся в различных фазовых состояниях (рис. 3).

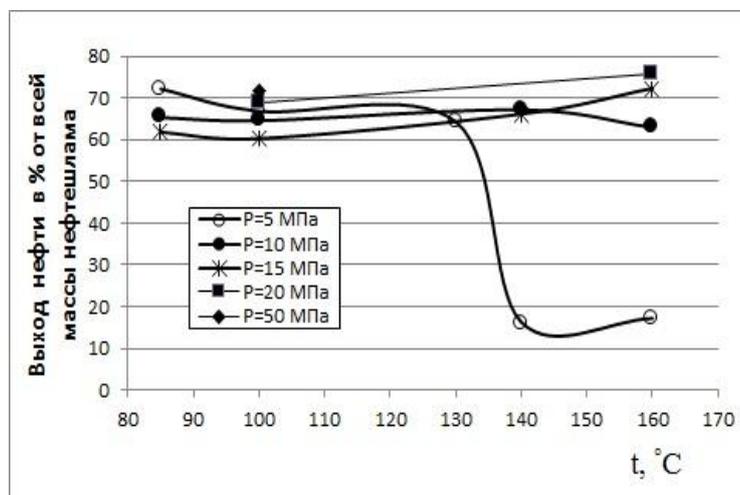


Рис. 2. Выход нефтепродукта из нефтяного отхода в процессе экстракционного извлечения с использованием пропан-бутанового экстрагента в жидком (85 $^\circ\text{C}$, 100 $^\circ\text{C}$) и сверхкритическом флюидном (130 $^\circ\text{C}$, 140 $^\circ\text{C}$, 160 $^\circ\text{C}$) состояниях; длительность процесса 120 мин.

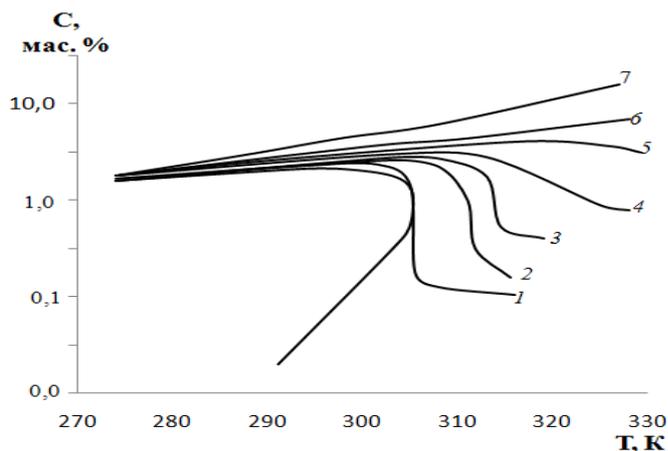


Рис. 3. Растворимость нафталина в диоксиде углерода ($T_{кр} = 304,14\text{К}$, $P_{кр} = 7,378\text{ МПа}$) на изобарах в областях жидкого, суб- и сверхкритического флюидного состояний растворителя P , МПа[5]: 7 (1), 8 (2), 9 (3), 10 (4), 12 (5), 15 (6), 30 (7)

Можно констатировать легко просматриваемую аналогию в поведении растворимости нафталина в CO_2 (рис. 3) и выхода продукта (рис. 2) в рамках экстракционного извлечения пропан-бутановым экстрагентом. Именно резкое снижение растворимости (рис. 3) и выхода нефтепродукта (рис. 2) при низких давлениях (7–9 МПа для диоксида углерода и 5 МПа для пропан-бутана) в области перехода растворителя из жидкого состояния в сверхкритическое флюидное лежит в основе высокорентабельного и давно реализованного в промышленности «ROSE» процесса [8] деасфальтизации нефтепродуктов, а также предлагаемого авторами настоящего исследования СКФ-импрегнационного процесса пропитки карбонатного щебня [11, 12].

При этом необходимо обратить внимание на то, что желанное и необходимое в вышеотмеченных процессах «ROSE» и пропитки карбонатного щебня снижение растворяющей способности экстрагента при «низких давлениях» может в принципе быть реализовано и при «высоких давлениях». Если в первом случае для этого было необходимо увеличить температуру растворителя/экстрагента при определенном низком давлении (к примеру, изобара $P=7\text{ МПа}$ на рис. 3), то во втором случае при некотором «высоком» давлении (изобара $P=30\text{ МПа}$ на рис. 3) понадобится снижение температуры. Подобная ситуация определяется и объясняется присутствием так называемых кроссоверных точек (нижней и верхней или первой и второй) на изотермах растворимости веществ в СКФ-растворителях. На рис. 4 показан характер изменения выхода нефтепродукта в процессе экстракционного извлечения с использованием пропан-бутанового экстрагента в жидком (85°C , 100°C) и сверхкритическом флюидном (130°C , 140°C , 160°C) состояниях, представленный в виде соответствующих изотерм.

На рис. 4 достаточно отчетливо можно видеть, как меняется температурная зависимость выхода нефтепродукта в различных диапазонах давлений. И, в частности, если в диапазоне $P=6,5\text{--}12\text{ МПа}$ с ростом температуры выход падает, то при $P>12,5\text{ МПа}$ наблюдается обратная тенденция, а именно: при увеличении температуры увеличивается и выход нефтепродукта. Согласно приведенным результатам, с учетом погрешностей измерений, первой и второй кроссоверным точкам отвечают давления, соответственно равные $\sim 5\text{--}6,5\text{ МПа}$ и $\sim 11\text{--}12\text{ МПа}$.

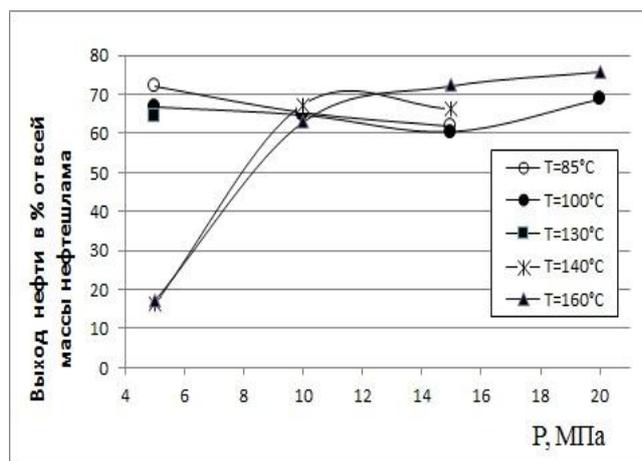


Рис. 4. Выход нефтепродукта из нефтяного отхода в процессе экстракционного извлечения с использованием пропан-бутанового экстрагента в жидком (85 °С, 100 °С) и сверхкритическом флюидном (130°С, 140°С, 160°С) состояниях; длительность процесса 120 мин.

В табл. 1 представлены свойства нефтепродукта, полученного с использованием экстракционного процесса и пропан-бутанового экстрагента при температуре $T=140^{\circ}\text{C}$ и давлении $P=10$ МПа.

Таблица 1

Некоторые характеристики нефтепродукта, полученного из нефтяного отхода с использованием экстракционного процесса, осуществленного при $T=140^{\circ}\text{C}$ и $P=10$ МПа

Определяемые показатели	НД на методы испытания	Результаты
Содержание хлористых солей, мг/дм ³	ГОСТ 21534-76	30
Плотность нефти при 20°С, кг/м ³	ГОСТ 3900-85	880,0
Содержание воды, % масс.	ГОСТ 2477-65	0
Содержание серы, % масс.	ГОСТ 51947-02	2,831
Содержание механических Примесей, % масс.	ГОСТ 6370-83	0,0090
Вязкость кинематическая, мм ² /с	ГОСТ 33-00	73,75
Пределы температур, °С начало кипения, °С	ГОСТ 2177-99	Выход фракции, %:
43– 100		43,6
100–150		2,5
150– 200		1,5
200– 250		0,5
250– 300		3,5
300–325		9
конец кипения, °С	2	
		325

В табл. 2 представлен выход нефтепродукта из нефтяного песчаника в процессе экстракционного извлечения с использованием пропан-бутанового экстрагента в широком диапазоне изменения режимных параметров (P , T) осуществления процесса.

Таблица 2

Выход нефтепродукта из песчаника в процессе экстракционного извлечения с использованием пропан-бутанового экстрагента

№ эксп. условий	$P_{\text{экстракции}}$, МПа	$T_{\text{экстракции}}$, °С	Массовое соотношение «экстрагент:песчаник»	Выход углеводов,% масс.
1	5	80	1,5:1	92,04
2		100	1,5:1	94,76
3		140	1,5:1	10
4	7	80	1,5:1	85,96
5		100	1,5:1	85,3
6		140	1,5:1	95,98
7	10	80	1,5:1	84,83
8		100	1,5:1	85,2
9		140	1,5:1	96,34

Как видно из табл. 2, технология позволяет извлечь углеводороды до 96,34% масс, а остаточные асфальтены образуют на поверхности и порах песчаников сверхстойчивую гидрофобную пленку.

В табл. 3 представлены свойства нефтепродукта, полученного с использованием экстракционного процесса и пропан-бутанового экстрагента при температуре $T=140^{\circ}\text{C}$ и давлении $P=10$ МПа.

Таблица 3

Некоторые характеристики нефтепродукта, полученного из песчаника с использованием экстракционного процесса, осуществленного при $T=140^{\circ}\text{C}$ и $P=10$ МПа

	Определяемые показатели	Единица измерения	НД на методы испытания	Результаты
1	Массовая доля воды	% мас.	ГОСТ 2477-65	0
2	Плотность при 20°С	кг/м ³	ГОСТ 3900-85	937,7
3	Массовая доля серы	% мас.	ГОСТ Р 51947-02	4,498
4	Вязкость кинематическая	мм ² /с	ГОСТ Р 33-00	511,73
5	Массовая доля механических примесей	% мас.	ГОСТ 6370-83	0,0088
6	Выход фракций: начало кипения при температуре до 100°С при температуре до 150°С при температуре до 200°С при температуре до 250°С конец кипения при температуре до 292°С	°С	ГОСТ 2177-99	63
		% мас.		2
		% мас.		3
		% мас.		3,5
		% мас.		4,0
		% мас.		292
7	Массовая доля парафина асфальтенов смола	°С		16
		% мас.		4,61
		% мас.		1,28
				20,90

Промышленная реализация технологии ставит проблему чистоты регенерируемого экстрагента, который в процессе экстракции, будучи реакционно способным углеводородом,

может взаимодействовать с компонентами экстракта или извлекаемого нефтепродукта. В таком случае после экстракционного процесса возникает необходимость дополнительной очистки экстрагента. В связи с этим проведен анализ состава экстрагента до и после процесса экстракции. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Состав экстрагента до и после процесса экстракции

Компоненты	Исходный экстрагент. Концентрация, % масс	Экстрагент после процесса. Концентрация, % масс
Пост. газы (воздух)	0,011	0,083
Метан	0,045	0,0439
Этан-этилен	0,722	0,729
Пропан	64,95	61,177
Изобутан	7,72	8,23
Бутан	26,54	29,733

Состав экстрагента практически отвечает исходному составу, что исключает необходимость дополнительной очистки.

Таким образом, в рамках данной работы получены экспериментальные результаты для разработки новой экологически безопасной и безотходной технологии по переработке нефтяных отходов и нефтенасыщенных песчаников с использованием жидкостного и сверхкритического флюидного экстракционного процессов с пропан-бутановым экстрагентом.

Выводы

1. Установлена эффективность и предпочтительность сверхкритического флюидного экстракционного процесса с пропан-бутановым экстрагентом в рамках задачи извлечения нефтепродукта из нефтяного отхода. Приведены результаты косвенной оценки узких диапазонов давлений для первой (5–6,5 МПа) и второй (11–12 МПа) кроссоверных точек изотерм растворимости исследованных нефтепродуктов в пропан-бутановом растворителе.

2. Сверхкритическая флюидная пропан-бутановая экстракционная обработка нефтеносных песков позволяет выделить из песчаника до 96,34% углеводородов.

Литература

1. Нефтеперерабатывающий комплекс России — ключевое мероприятие отрасли // «Нефтегазовая вертикаль». 2012. №6. С. 16.
2. Остроумова Е.Г. Переработка отходов – вещь дорогая (интервью с С.В. Мещеряковым)// Газовая промышленность. 2012. № 1-12. № 1. С. 64–66.
3. Сидорова Л.П., Султанбекова Е.Е., Стригунова Е.Е.. Сланцевый газ и сланцевая нефть: получение и экологический ущерб. Екатеринбург.:УФУ. 2016. 173 с.
4. Гумеров Ф.М., Сабирзянов А.Н., Гумерова Г.И. Суб- и сверхкритические флюиды в процессах переработки полимеров. Казань.: ФЭН, 2000. 328 с.
5. Mc. Hugh M.A., Krukoni V.J. Supercritical Fluids Extraction: Principles and Practice. Sec. Edit. Butterworth-Heinemann. 1994. 507 p.
6. Mukhopadhyay M. Natural Extracts Using Supercritical Carbon Dioxide. CRC Press. 2000. 339 P.
7. Demirbas A. Deasphalting of crude oils using supercritical fluids // Petroleum Science and Technology. 2016. V. 34. №7. P. 665-670. DOI: 10.1080/10916466.2016.1157607.
8. Cansell F., Petitet J.-P. Fluides Supercritiques et materiaux. LIMHP CNRS. 1995. 372 P.

9. Kay W.B. Vapor-Liquid Equilibrium Relations of Binary Systems. The Propane-n-Alkane Systems. n-Butane and n-Pentane // J. of Chem. and Eng. Data. 1970.V.15. № 1. P. 46.
10. Beránek P., Wichterle I. Vapour-Liquid Equilibria in the Propane-n-Butane System at High Pressures // Fluid Phase Equilibria. 1981. V. 6. P. 279.
11. Gumerov F.M., Farakhov M.I., Khayrutdinov V.F., Gabitov F.R., Zaripov Z.I., Khabriyev I. S., Akhmetzyanov T.R. Impregnation of crushed stone with bitumenous compounds using propane/butane impregnation process carried out in supercritical fluid conditions // American J. of Analytical Chem. 2014. V.5. P. 945.
12. Гумеров Ф.М., Фарахов М.И., Хайрутдинов В.Ф., Габитов Р.Ф., Зарипов З.И., Хабриев И.Ш., Ахметзянов Т.Р. Увеличение функциональности карбонатного щебня посредством сверхкритической флюидной импрегнации битуминозными соединениями // Сверхкритические флюиды. Теория и практика. 2015. Т.10. №2. С. 4.

Авторы публикации

Хайрутдинов Венер Фаилевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теоретические основы теплотехники» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ). E-mail: kvener@yandex.ru.

Гумеров Фарид Мухамедович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ).

References

1. Refinery Complex of Russia - the key event of the industry. "Oil and Gas Vertical". 2012. №6. p. 16.
2. Ostroumova E.G., Recycling - something expensive (interview with SV Meshcheryakov) // Gas Industry. 2012. № 1-12. № 1. p. 64-66.
3. Sidorova L.P., Sultanbekova E.E., Strigunova E.E. Shale gas and shale oil receiving and environmental damage. Ekaterinburg.: UFU. 2016. 173 p.
4. Gumerov, F.M., Sabirzyanov, A.N. and Gumerova, G.I. Sub- and Supercritical Fluids in Polymer. Science, Kazan, 2000, 328 p.
5. Mc. Hugh M.A., Krukoniš V.J. Supercritical Fluids Extraction: Principles and Practice. Sec. Edit. Butterworth-Heinemann. 1994. 507 p.
6. Mukhopadhyay M. Natural Extracts Using Supercritical Carbon Dioxide. CRC Press. 2000. 339 P.
7. Demirbas A. Deasphalting of crude oils using supercritical fluids // Petroleum Science and Technology. 2016. V. 34. №7. P. 665-670. DOI: 10.1080/10916466.2016.1157607.
8. Cansell F., Petitot J.-P. Fluides Supercritiques et materiaux. LIMHP CNRS. 1995. 372 P.
9. Kay W.B. Vapor-Liquid Equilibrium Relations of Binary Systems. The Propane-n-Alkane Systems. n-Butane and n-Pentane // J. of Chem. and Eng. Data. 1970.V.15. № 1. P. 46.
10. Beránek P., Wichterle I. Vapour-Liquid Equilibria in the Propane-n-Butane System at High Pressures // Fluid Phase Equilibria. 1981. V. 6. P. 279.
11. Gumerov F.M., Farakhov M.I., Khayrutdinov V.F., Gabitov F.R., Zaripov Z.I., Khabriyev I. S., Akhmetzyanov T.R. Impregnation of crushed stone with bitumenous compounds using propane/butane impregnation process carried out in supercritical fluid conditions // American J. of Analytical Chem. 2014. V.5. P. 945.
12. F.M. Gumerov, M.I. Farakhov, V.F. Khayrutdinov, R.F. Gabitov, Z.I. Zaripov, I.Sh. Khabriyev, T.R. Akhmetzyanov. The functionality increase of carbonate macadam with the use of supercritical fluid impregnation of bituminous compositions// Supercritical fluids. Theory and practice. 2015. V.10. №2. p. 4.

Authors of the publication

Khairutdinov Vener Failevich - associate professor of the department "Theoretical of heat engineering", KNRTU.

Gumerov Farid Muhamedovich - Dr. Sc. Sciences, Professor, Head of the Theoretical of heat engineering", KNRTU.

Поступила в редакцию

14 февраля 2017 г.