

Д. Ш. Садыков, Б. Р. Вагапов, Е. А. Емельянычева,
А. Ю. Пустынников, Л. В. Хасанзянова, А.С. Кукин,
Н. Ю. Башкирцева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСТАТКА ПРОЦЕССА ВИСБРЕКИНГА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОКИСЛЕННЫХ БИТУМОВ

Ключевые слова: гудрон, битум, висбрекинг-остаток, окисление.

В данной статье рассматривалась возможность использования остатка процесса висбрекинга, побочного продукта нефтепереработки, в качестве компонента сырья производства окисленных битумов в соответствии с ГОСТ 33133-2014. В исследовании изучены параметры процесса окисления, включая температуру, расход воздуха и продолжительность окисления с целью получения битума требуемого качества. Проведена оценка качества получаемого продукта по следующим показателям качества: глубина проникания иглы, температура размягчения, температура хрупкости, растяжимость, динамическая вязкость, а также показатели, характеризующие его термоокислительную стабильность. Оценено влияние остатка висбрекинга на свойства получаемого битума, как коллоидно-дисперсной системы. На основе экспериментальных данных построены графические зависимости показателей качества от технологических показателей и содержания висбрекинг-остатка. Установлено, что получение битума марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014, соответствующего требованиям стандарта в том числе и по показателям термоокислительной стабильности, возможно при концентрации висбрекинг-остатка в сырье не более 10% мас. Также с ростом концентрации остатка висбрекинга в сырье первоначально происходит снижение, а затем увеличение вязкости получаемого продукта, что связано с изменением его коллоидных свойств, а именно образованием более крупных агрегатов асфальтенов – наиболее высокомолекулярных соединений в составе битума. Кроме того, образцы, полученные с использованием висбрекинг-остатка, обладают по сравнению с образцами, полученными окислением гудрона, более широким интервалом пластичности, что связано с меньшим содержанием насыщенных и более высоким содержанием ароматических углеводородов в остатке висбрекинга. Эти факторы подчеркивают перспективность использования остатков висбрекинга при производстве дорожных битумов.

D. Sh. Sadykov, B. R. Vagapov, E. A. Emelyanycheva,
A. Yu. Pustynnikov, L. V. Khasanzyanova, A. S. Kukin,
N. Yu. Bashkirtseva

USE OF VISBREAKING RESIDUE AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF OXIDIZED BITUMEN

Keywords: vacuum residue, bitumen, visbreaking residue, oxidation.

This article considered the possibility of using the residue of the visbreaking process, a by-product of oil refining, as a component of raw materials for the production of oxidized bitumen in accordance with GOST 33133-2014. In the study the parameters of the oxidation process, including temperature, air flow rate and duration of oxidation in order to obtain bitumen of the required quality were studied. The quality of the obtained product was assessed by the following indicators: needle penetration depth, softening temperature, brittleness temperature, extensibility, dynamic viscosity, as well as indicators characterizing its thermo-oxidative stability. The influence of visbreaking residue on the properties of the obtained bitumen as a colloidal-dispersed system has been evaluated. Using experimental data, graphical dependences of quality indicators on technological parameters and visbreaking residue content are constructed. It was found that obtaining bitumen grade BND 70/100 according to GOST 33133-2014, corresponding to the requirements of the standard, including the indicators of thermo-oxidative stability, is possible at a concentration of visbreaking residue in the raw material no more than 10% wt. Also with increasing concentration of visbreaking residue in the raw material initially decreases and then increases the viscosity of the resulting product, which is associated with changes in its colloidal properties, namely the formation of larger aggregates of asphaltenes - the most high molecular weight compounds in the bitumen. In addition, the samples obtained using visbreaking residue, compared to the samples obtained by oxidation of tar, have a wider range of plasticity, which is associated with a lower content of saturated and higher content of aromatic hydrocarbons in the residue visbreaking. These factors emphasize the prospects of using visbreaking residues in the production of road bitumen

Введение

Одной из важнейших задач отрасли нефтепереработки является увеличения глубины переработки добываемой нефти, то есть рациональное использование тяжелых нефтяных остатков [1]. Одним из направлений является производство битумных вяжущих материалов, традиционно получаемых в России их окислением в специальных колонных аппаратах [2].

Постоянный рост требований к глубине переработки нефти на НПЗ приводит к более глубокому отбору вакуумных дистиллятных фракций, являющихся сырьем для установок каталитического и гидрокрекинга, в следствие чего происходит уменьшение объемов производимого гудрона.

Получаемый гудрон первоначально является сырьем для установок замедленного коксования, а в последние годы также и для установок висбрекинга, являющихся источником дополнительного количества

светлых фракций, позволяющих получить более высокомаржинальную продукцию [3].

Перечисленные факторы приводят к необходимости поиска иных источников. Одним из перспективных направлений решения данного вопроса является вовлечение в процесс окисления продуктов различных процессов вторичной нефтепереработки [4].

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования применялись гудрон и висбрекинг-остаток, характеристика и групповой состав которых приведены в таблицах 1,2.

Таблица 1 – Характеристика гудрона и висбрекинг-остатка

Table 1 – Characterization of vacuum residue and visbreaking residue

Наименование показателя	Гудрон	Висбрекинг-остаток
Плотность при 15°C, кг/м ³	997,5	1002,5
Температура размягчения, °C	33	19,9
Температура вспышки, °C	286	138
Вязкость условная при 80°C, с.	91	-
Вязкость условная при 100°C, с	-	18,7

Получение образцов окисленных битумов осуществлялось на лабораторной установке окисления периодического действия, схема которой приведена на рисунке 1.

Сырье I, разогретое при температуре 155-165°C до жидкого состояния, подается в реактор окисления 1 в количестве 1900±50г. Реактор 1 представляет собой окислительный куб периодического действия с распределительным устройством 5 (маточник). Реактор имеет съемную крышку для загрузки сырья и маточ-

ник для подачи воздуха. После загрузки сырья необходимо герметично закрыть крышку реактора и подобрать режим окисления, а именно: температуру, расход воздуха и время окисления. В первую очередь

Таблица 2 – Групповой состав гудрона и висбрекинг-остатка

Table 2 – Group composition of vacuum residue and visbreaking residue

Наименование показателя	Гудрон	Висбрекинг-остаток
Содержание асфальтенов, %мас.	5	12
Содержание масел, %мас.	38	45
Содержание бензолных смол, %мас.	33	24
Содержание спиртобензолных смол, %мас.	24	19

выставляется температура в реакторе на блоке управления 2, измерение температуры внутри реактора осуществляется с помощью погружного датчика температуры 3. Далее, по достижении необходимой температуры, с помощью компрессора подается воздух II через редуктор расхода 4. В ходе реакции образуются газы окисления, уносящие с собой некоторую часть углеводородов (черный соляр). Газы проходят через холодильник 6, где охлаждаются с помощью проточной воды V. Затем охлажденный газ поступает в абсорберы 7 и 8 (колба Бунзена объемом 500 мл), в качестве абсорбентов используются прямогонная дизельная фракция и вода. В абсорбере поглощаются кислые газы и унесенные из сырья углеводороды. Остатки газов IV выводятся из установки с помощью вентиляционной системы. По истечении необходимого количества времени окисления подача воздуха прекращается, полученный битум III сливается снизу реактора 1 с помощью патрубка в приемник.

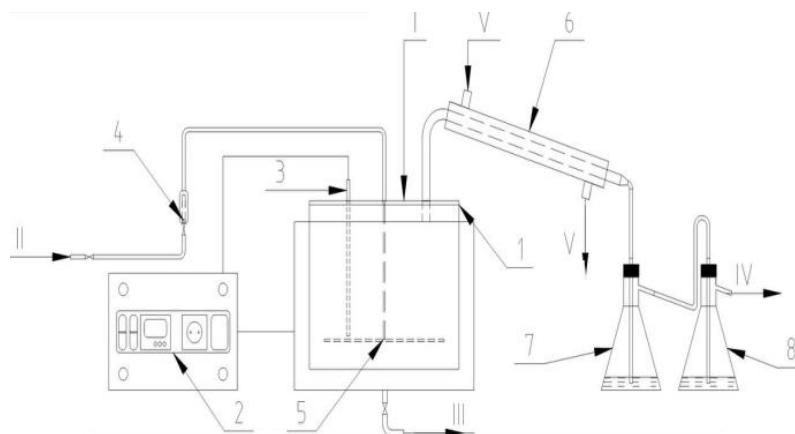


Рис. 1 – Схема лабораторной установки получения окисленных битумов

Fig. 1 – Scheme of a laboratory asphalt blowing unit

Оценка свойств образцов окисленных битумов осуществлялась в соответствии с ГОСТ 33133-2014.

Перечень показателей качества и методики их определения приведены в таблице 3.

Таблица 4 – Перечень оцениваемых показателей образцов окисленных битумов

Table 4 - List of evaluated indicators of oxidized bitumen samples

Наименование показателя	Методика испытания	Наименование оборудования
Глубина проникания иглы при 25°C, [0,1мм]	ГОСТ 33136	Линтел ПН-20Б
Температура размягчения, [°C]	ГОСТ 33142	Линтел КИШ-20М4
Температура хрупкости, [°C]	ГОСТ 33143	ГРАНТ АТХ-04
Растяжимость при 0°C, [см]	ГОСТ 33138	Линтел ДБ-20-100
Изменение массы образца после старения, [%]	ГОСТ 33140	Линтел ПСБ-10
Изменение температуры размягчения после старения, [°C]	ГОСТ 33142 ГОСТ 33140	Линтел ПСБ-10 Линтел КИШ-20М4
Динамическая вязкость при 60°C, Условие 1, [Па*с]	ГОСТ 33137	ГРАНТ ВР-01
Динамическая вязкость при 60°C после старения, Условие 1, [Па*с]	ГОСТ 33137 ГОСТ 33140	ГРАНТ ВР-01 Линтел ПСБ-10
Коэффициент изменения динамической вязкости	ГОСТ Р 58829	-

Обсуждение результатов исследования

Для производства окисленных битумов высокого качества требуется оптимальное соотношение компонентов группового состава в сырье (гудроне) – масел, смол и асфальтенов [5]. Во многом оно определяется характером нефти. Установлено, что наиболее пригодным сырьем являются высокосмолистые нефти с низким содержанием парафиновых (П) углеводородов и высоким содержанием смол (С) и асфальтенов (А), для которых выполняется условие (1) [6]:

$$A+C-2,5П \geq 8 \quad (1)$$

Литературные данные также говорят о том, что наиболее подходящим сырьем с условной вязкостью при 80°C, находящейся в диапазоне 40-60 с [7].

Для проведения исследований были приготовлены образцы смесового сырья из гудрона и висбрекинг-остатка при соотношениях 90:10, 85:15 и 80:20 %мас. соответственно. Окисления проводились при следующих технологических параметрах: температура 220°C, расход воздуха 7 л/мин при загрузке реактора 2100±50г и различном времени окисления.

Полученные образцы проверялись на соответствие марке битума БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014.

Также было проведено сравнение образцов, полученных на основе компаундированного сырья, с образцом, полученным окислением гудрона.

Характеристики полученных образцов приведены в таблице 4.

Для всех полученных образцов методом адсорбционно-жидкостной хроматографии было определено содержание масел (М), асфальтенов (А), бензольных (БС) и спирто-бензольных (СБС) смол. Данные приведены в таблице 5.

Таблица 4 – Характеристика образцов, полученных с использованием висбрекинг-остатка в качестве компонента сырья окисления

Table 4 - Characterization of samples obtained using visbreaking residue as a component of oxidation crude

Наименование показателя	Номер и образца и условия его получения				
	1	2	3	4	5
	Г = 100; τ = 150 мин	Г: ВБ = 90:10; τ = 150 мин	Г: ВБ = 85:15; τ = 150 мин	Г: ВБ = 85:15; τ = 165 мин	Г: ВБ = 80:20; τ = 140 мин
1	2	3	4	5	6
П25, 0,1 мм	72	85	88	72	79
Тразм, °C	52	48,5	46,7	49,6	49,4
Д0, см	3,8	3,8	3,95	3,8	3,85
Тхр, °C	-19	-20	-22	-19	-20
В60, Условие 1, Па·с	312	189	153	410	436
ΔМ, %	0,12	0,48	0,55	0,8	0,9
ΔТразм°С	2	5,5	6,7	7,7	7,8
В60 после старения, Условие 1, Па·с	605	727	909	876	846
ΔВ60	1,94	3,83	5,91	2,14	1,94

Как видно из данных таблицы 2, требованиям ГОСТ 33133-2014 соответствуют два образца: образцы 1 и 2, полученные окислением гудрона и смесового сырья, состоящего из гудрона и висбрекинг-остатка в соотношении 90:10 соответственно.

Также стоит заметить, что с ростом концентрации остатка висбрекинга в сырье окисления до 15% масс.

первоначально для получения битума со аналогичными значениями пенетрации при 25°C требуется увеличение, при дальнейшем увеличении его концентрации в сырье до 20%мас. - снижение продолжительности окисления.

Таблица 5 – Групповые составы образцов, полученных с использованием висбрекинг – остатка в качестве компонента сырья окисления

Table 5 – Group composition of samples obtained using visbreaking residue as a component of oxidation crude

Наименование группового компонента для образца	Номер образца				
	1	2	3	4	5
А, % масс.	14	13	15	16	16,8
М, % масс.	27	30	32	30	31
БС, % масс.	30	31	30	30	27
СБС, % масс.	29	26	23	24	25

Как известно, глубина проникания иглы и вязкость битума обладают обратной зависимостью и во многом зависят от величины содержания масел и асфальтенов в битуме. Соответственно, изначальная необходимость в увеличении времени окисления объясняется, в первую очередь, снижением вязкости сырья окисления, связанное с введением в него более низковязкого остатка висбрекинга (таблица 1), обладающего, кроме того, значительно более высоким содержанием масляных компонентов [8,9].

Однако с дальнейшим увеличением концентрации висбрекинга-остатка в сырье для достижения аналогичных значений глубины проникания иглы требуется уменьшение продолжительности окисления (образцы 1 и 5), что может быть связано, в первую очередь, с увеличением в сырье концентрации непредельных соединений, образующихся в процессе висбрекинга и содержащихся в его остатке [10].

Все образцы, полученные как из гудрона, так и из смесового сырья, обладают высокой пластичностью – растяжимость при 25°C более 100 см. и пограничными значениями растяжимости при 0°C, однако образцы, полученные на смесовом сырье, обладают несколько более высокими значениями данного показателя.

Для образцов, полученных с использованием остатка висбрекинга в качестве компонента сырья, характерны более низкие значения температур размягчения и хрупкости, практически не изменяется растяжимость при 0 и 25 °C (рис 2). Причиной снижения значений температур размягчения и хрупкости является более высокое содержание масел в висбрекинг-остатке по сравнению с гудроном [11]

Для образцов, полученных с использованием остатка висбрекинга в качестве компонента сырья окисления, первоначально при повышении доли висбрекинг-остатка в сырье наблюдается снижение динамической вязкости продукта, по сравнению с образцом, полученным окислением гудрона, а затем резкий ее рост (рис. 3). Динамическая вязкость, кроме содержания в битуме масел, смол и асфальтенов, во многом определяется коллоидной структурой битума, а именно степенью диспергированности наиболее тяжелых его компонентов – асфальтенов. Как видно из данных таблиц 1 и 2, висбрекинг-остаток по

сравнению с гудроном обладает значительно более высоким содержанием масел и асфальтенов и более низким содержанием смол. По этой причине с ростом концентрации висбрекинг-остатка в сырье первоначально наблюдается снижение вязкости продукта для битумов одной марки, а затем происходит ее рост, что обусловлено дальнейшим снижением содержания смол с одновременным ростом содержания асфальтенов в сырье, и как следствие в битуме, в результате чего степень пептизации асфальтенов уменьшается, что приводит к образованию более крупных их агрегатов, повышающих вязкость продукта [12].

Также с ростом содержания висбрекинг-остатка в сырье наблюдается значительное ухудшение термоокислительной стабильности получаемого битума – образцы, полученные при соотношениях гудрона и висбрекинг-остатка выше, чем 90:10, не удовлетворяют требованиям ГОСТ 33133-2014 по следующим показателям: изменение температуры размягчения, изменение массы образца, коэффициент изменения динамической вязкости (рис. 4-6). Однако в процессе старения наблюдается значительное увеличение массы образца для битумов, полученных на основе смесового сырья.

В процессе старения изменение массы происходит за счет двух факторов: испарение более легкокипящих масляных компонентов битума – уменьшение массы; поглощение битумом кислорода воздуха в ходе протекания процессов термоокислительной конденсации – увеличение массы [13]. Прирост массы говорит о том, что в процессе старения значительно преобладают процессы термоокислительной конденсации, а испарение масляных компонентов происходит незначительно [14]. Во многом это обусловлено повышенным содержанием непредельных соединений в продуктах висбрекинга. [15].

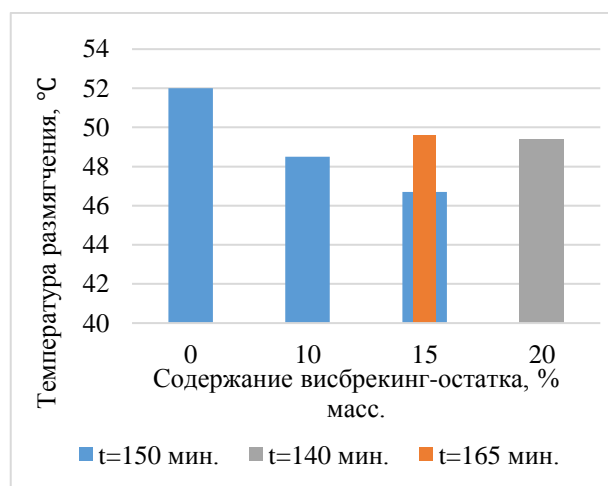


Рис. 2 – Зависимость температуры размягчения образцов от содержания висбрекинг-остатка в сырье и технологических параметров окисления

Fig. 2 - Dependence of softening temperature of samples on visbreaking residue content in raw materials and oxidation process parameters

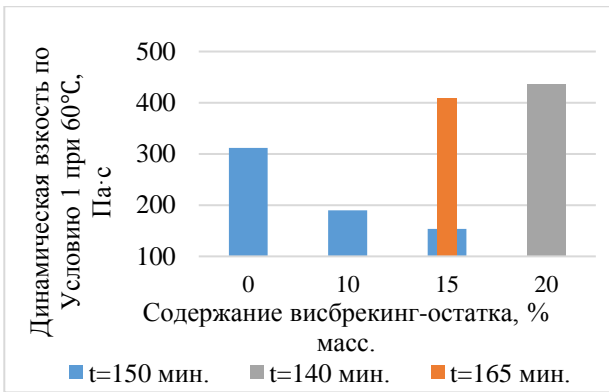


Рис. 3– Зависимость динамической вязкости образцов от содержания висбрекинг-остатка в сырье и технологических параметров окисления

Fig. 3 - Dependence of dynamic viscosity of samples on visbreaking residue content in raw materials and technological parameters of oxidation

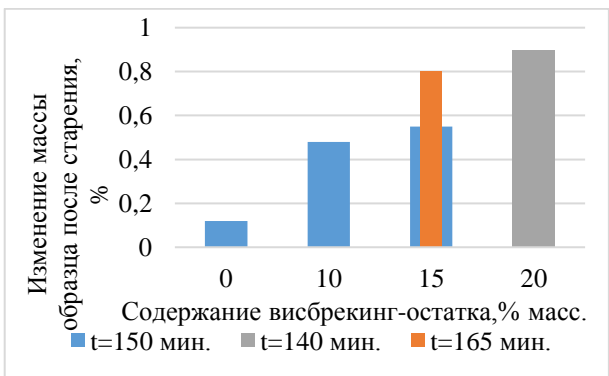


Рис. 4 – Зависимость изменения массы образцов после старения от содержания висбрекинг-остатка в сырье и технологических параметров окисления

Fig. 4 - Dependence of mass change of samples after aging on the content of visbreaking residue in raw materials and technological parameters of oxidation

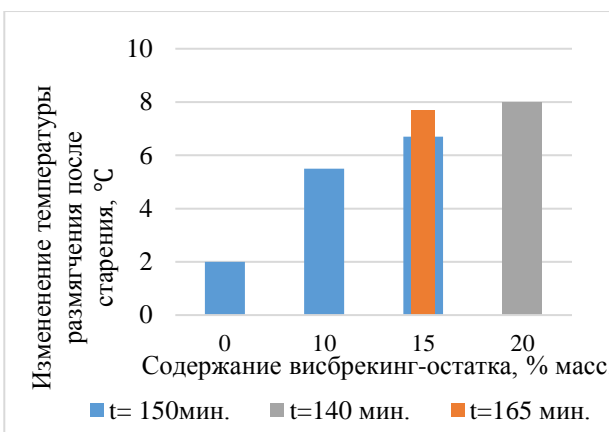


Рис. 5 – Зависимость изменения температуры размягчения образцов после старения от содержания висбрекинг-остатка в сырье и технологических параметров окисления

Fig. 5 - Dependence of change in softening temperature of samples after aging on visbreaking residue content in raw materials and technological parameters of oxidation

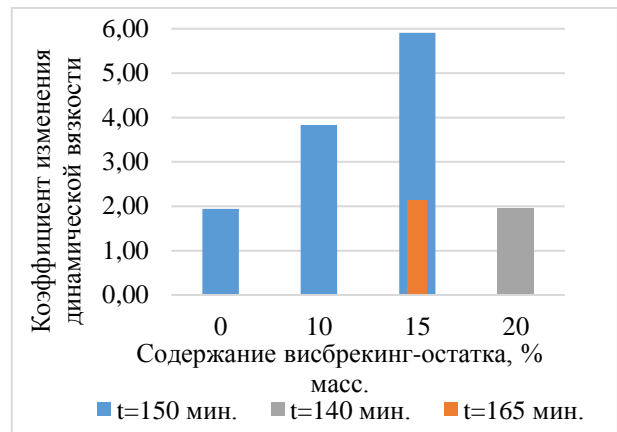


Рис. 6 – Зависимость коэффициента изменения динамической вязкости образцов от содержания висбрекинг-остатка в сырье и технологических параметров окисления

Fig. 6 - Dependence of the coefficient of variation of dynamic viscosity of samples on the visbreaking residue content in raw materials and oxidation process parameters

Заключение

1. Установлена возможность получения дорожных битумов, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 33133-2014 к марке БНД 70/100, совместным окислением гудрона и остатка процесса висбрекинга при соотношении компонентов не более, чем 90:10.

2. Для получения аналогичных значений глубины проникания иглы с ростом концентрации остатка висбрекинга в сырье окисления до 15% масс. первоначально для получения битума со аналогичными значениями пенетрации при 25°C требуется увеличение, при дальнейшем увеличении его концентрации в сырье до 20%мас. - снижение продолжительности окисления.

3. Образцы, полученные с использованием висбрекинг-остатка характеризуются более низкими значениями температур размягчения и хрупкости, практически не изменяются значения растяжимости при 25 и 0°C. Также с ростом содержания висбрекинг-остатка наблюдается снижение, а затем резкий рост величины показателя динамической вязкости при 60°C, что, в свою очередь, свидетельствует о возможности регулирования реологических свойств вяжущего путем изменения концентрации данного компонента в сырье окисления.

4. При использовании соотношения компонентов выше, чем 90:10, полученные образцы не удовлетворяют требованиям ГОСТ 33133-2014 по показателям, характеризующим термоокислительную стабильность: изменение массы образца после старения, изменение температуры размягчения после старения, коэффициент изменения динамической вязкости.

Литература

1. Р. Р. Кагарманов, Ю. М. Малышев, *Вестник магистратуры*, 1, 16, 53-54 (2013).

2. О. Джумаева, Н.Л. Солодова, Е.А. Емельянычева, *Вестник технологического университета*, 18, 20, 132-136 (2015).
3. М.В. Клыков, Т.В. Алушкина, Ю.А. Жаринов, *Сетевое издание «Нефтегазовое дело»*, 1, 260-281 (2020).
4. С.В. Дронов, А.Н. Нечаев, В.М. Кузнецова, *Известия СПбГТИ(ТУ)*, 54, 41-44 (2020).
5. Д. А. Розенталь, *Нефтяные окисленные битумы*. ЛТИ, Ленинград, 1973. 47 с.
6. Р. Б. Гун, *Нефтяные битумы*. Химия, Москва, 1989. 148 с.
7. С. К. Буканова, Ю. А. Кутьин, И. Р. Хайрутдинов, *Башкирский химический журнал*, 20, 1, 14-17 (2013).
8. Э. А. Галиуллин, Р. З. Фахрутдинов, *Вестник технологического университета*, 20, 20, 31-36 (2017).
9. Ю.Х. Тарамов, П.С. Цамаева, А.А. Эльмурзаев, *Вестник ГНТУ*, 18, 2, 54-62 (2022).
10. Х. Х. Ахмадова, А. М. Сыркин, Л. Ш. Махмудова, *Становление и развитие процесса висбрекинга тяжёлого углеводородного сырья*. Химия, Москва, 2008. 208 с.
11. Р. И. Сибгатуллина, А. И. Абдуллин, Е. А. Емельянычева, Г. К. Бикмухаметова *Вестник технологического университета*, 19, 2, 41-47 (2016).
12. И. Б. Грудников, *Производство нефтяных битумов*. Химия, Москва, 1983. 192 с.
13. А. Р. Махмутова, Н. Г. Евдокимова, Д. Д. Караськина, Г. В. Копощко, *Химия и технология топлив и масел*, 5, 43-46 (2023).
14. Н.А. Рыбачук, *Вестник ИрГТУ*, 2, 120-125 (2015).
15. Р. Р. Везиров, *Башкирский химический журнал*, 17, 3, 189-195 (2010).
2. O. Dzhumaeva, N.L. Solodova, E.A. Emelyanycheva, *Herald of Technological University*, 18, 20, 132-136 (2015).
3. M.V. Klykov, T.V. Alushkina, Y.A. Zharinov, *Neftegazovoye Delo*, 1, 260-281 (2020).
4. S.V. Dronov, A.N. Nechaev, V.M. Kuznetsova, *Izvestiya SPbGTI(TU)*, 54, 41-44 (2020).
5. D.A. Rosenthal, *Petroleum oxidized bitumens*. LTI, Leningrad, 1973. 47 c.
6. R. B. Gun, *Oil oxidized bitumens*. Khimiya, Moscow, 1989. 148 c.
7. C. K. Bukanova, Y. A. Kutiin, I. R. Khairutdinov, *Bashkir Chemical Journal*, 20, 1, 14-17 (2013).
8. E. A. Galiullin, R. Z. Fakhrutdinov, *Herald of Technological University*, 20, 20, 31-36 (2017).
9. Y. H. Taramov, P. S. Tsamaeva, A. A. Elmurzaev, *Vestnik GGNTU*, 18, 2, 54-62 (2022).
10. X. X. Akhmadova, A. M. Syrkin, L. Sh. Makhmudova, *Becoming and development of visbreaking process of heavy hydrocarbon raw materials*. Khimiya, Moscow, 2008. 208 c.
11. R. I. Sibgatullina, A. I. Abdullin, E. A. Emelyanycheva, G. K. Bikmukhametova *Herald of Technological University*, 19, 2, 41-47 (2016).
12. I. B. Grudnikov, *Production of petroleum bitumen*. Khimiya, Moscow, 1983. 192 c.
13. A. R. Makhmutova, N. G. Evdokimova, D. D. Karas-kina, G. V. Koposhko, *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 5, 43-46 (2023).
14. N. A. Rybachuk, *Vestnik IrSTU*, 2, 120-125 (2015).
15. R. R. Vezirov, *Bashkir Chemical Journal*, 17, 3, 189-195 (2010).

References

1. R. R. Kagarmanov, Y. M. Malyshev, *Vestnik magistratura*, 1, 16, 53-54 (2013).

© **Д. Ш. Садыков** – аспирант кафедры Химической технологии переработки нефти и газа (ХТПНГ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ); главный специалист НИЦ «Битумные материалы» ООО «Газпромнефть – Промышленные Инновации», Казань, Россия, dsadykov34@gmail.com; **Б. Р. Вагапов** – кандидат хим. наук, доцент кафедры ХТПНГ, КНИТУ, VagapovBR@corp.knrtu.ru; **Е. А. Емельянычева** – кандидат техн. наук, доцент кафедры ХТПНГ, КНИТУ, EmelyanychevaEA@corp.knrtu.ru; **А. Ю. Пустынный** – кандидат техн. наук, руководитель направления контроля технологии сырья, битумов и коксов, ООО «Газпромнефть – Битумные материалы», Казань, Россия, bitum@gazprom-neft.ru; **Л. В. Хасанзянова** – магистр кафедры ХТПНГ, КНИТУ, lhasanzyanova@yandex.ru; **А. С. Кукин** – начальник управления НИЦ «Битумные материалы» ООО «Газпромнефть – Промышленные Инновации», bitum@gazprom-neft.ru; **Н. Ю. Башкирцева** – доктор техн. наук, заведующий кафедрой ХТПНГ, КНИТУ, BashkirtsevaNYu@corp.knrtu.ru.

© **D. Sh. Sadykov** – PhD- student of the Department of Chemical Technology for Oil and Gas Processing (CTOGP), Kazan National Research Technological University (KNRTU); Chief Specialist at the Research Center for Bituminous Materials at Gazpromneft – Industrial Innovations LLC, Kazan, Russia, dsadykov34@gmail.com; **B. R. Vagapov** – PhD (Chemical Sci.), the CTOGP department, KNRTU, VagapovBR@corp.knrtu.ru; **E. A. Emelyanycheva** – PhD (Technical Sci.), the CTOGP department, KNRTU, EmelyanychevaEA@corp.knrtu.ru; **A. Yu. Pustynnikov** – PhD (Technical Sci.) Head of Raw Materials, Bitumen and Coke Technology Control, LLC Gazprom Neft - Bituminous Materials, bitum@gazprom-neft.ru; **L. V. Khasanzyanova** – Master- student of the CTOGP department, KNRTU, lhasanzyanova@yandex.ru; **A. S. Kukin** – Head of the Department at the Research Center for Bituminous Materials at Gazpromneft – Industrial Innovations LLC, bitum@gazprom-neft.ru; **N. Yu. Bashkirtseva** – Doctor of Science (Technical Sci.), Head of the CTOGP department, KNRTU, BashkirtsevaNYu@corp.knrtu.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 03.02.26.
Дата принятия рукописи в печать – 13.03.26.