

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 665.775.4

DOI 10.55421/3034-4689_2026_29_4_28

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОЙЛЕВЫХ ФРАКЦИЙ ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОКИСЛЕННЫХ БИТУМОВ

Ключевые слова: гудрон, битум, тяжелый газойль каталитического крекинга, тяжелый газойль коксования, окисление.

В данной статье рассматривалась возможность использования тяжелого газойля коксования и тяжелого газойля каталитического крекинга, побочных продуктов вторичных процессов нефтепереработки, в качестве компонента сырья производства окисленных нефтяных 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 газойлевых фракций вторичных процессов на свойства получаемого битума, как коллоидно-дисперсной системы. На основе экспериментальных данных получены зависимости изменения показателей качества от технологических условий окисления и содержания газойлевых фракций в сырье. Установлено, что получение битума прямым окислением гудрона, а также окислением смешанного сырья из гудрона и газойлевых фракций вторичных процессов, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 33133-2014 по показателю теплостойкости для соответствующих марок битумов не является возможным. Однако, с ростом содержания в сырье тяжелого газойля каталитического крекинга в диапазоне 0-10% масс. наблюдается улучшение показателей, характеризующих термоокислительную стабильность битума. Вовлечение в процесс окисления тяжелого газойля коксования до 10% масс. не оказывает значительного влияния на качество получаемого продукта, однако с ростом концентрации ТГК в сырье окисления наблюдается рост динамической вязкости окисленного битума. Эти факторы подчеркивают перспективность использования газойлевых фракций вторичных термических и каталитических процессов нефтепереработки при производстве дорожных битумов.

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

USE OF GAS OIL FRACTIONS FROM SECONDARY OIL REFINING PROCESSES AS A RAW MATERIAL COMPONENT FOR THE PRODUCTION OF OXIDIZED BITUMENS

Keywords: vacuum residue, bitumen, heavy coking gas oil, heavy catalytic cracking gas oil, oxidation.

This article considered the possibility of using the heavy coking gas oil and the heavy catalytic cracking gas oil, 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 obtained product quality 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 gas oil fractions of secondary processes on the properties of the obtained bitumen as a colloidal-dispersed system is estimated. Based on experimental data, the dependences of changes in quality indicators on the technological conditions of oxidation and the content of gas oil fractions in raw materials are obtained. It has been established that the production of bitumen by direct oxidation of tar, as well as by oxidation of mixed raw materials from tar and gas oil fractions of secondary processes, meeting the requirements of GOST 33133-2014 in terms of heat resistance for the corresponding bitumen grades is not possible. However, with an increase in the content of heavy catalytic cracking gas oil in the raw material in the range of 0-10% by weight. There is an improvement in the indicators characterizing the thermal and oxidative stability of bitumen. Involvement of up to 10% by weight of heavy coking gas oil in the oxidation process. It does not significantly affect the quality of the product obtained, however, with an increase in the concentration of THC in the oxidation feedstock, an increase in the dynamic viscosity of oxidized bitumen is observed. These factors emphasize the prospects of using gas oil fractions of secondary thermal and catalytic refining processes in the road bitumen production.

Введение

Одной из важнейших задач отрасли нефтепереработки является направление рационального использование тяжелых нефтяных остатков [1]. Одним из вариантов переработки тяжелых нефтяных остатков является производство битумных вяжущих материалов, традиционно получаемых в России их окисле-

нием в специальных колонных аппаратах [2]. Однако, в последние несколько лет битумная отрасль России сталкивается с рядом вызовов, обусловленных общемировыми трендами в нефтепереработке. Ключевым из них является последовательное углубление переработки нефти, нацеленное на максимизацию объема более высокомаржинальных светлых нефтепродуктов (бензинов, дизельного топлива, авиационного керосина). Данная стратегия приводит

к существенному ухудшению качества и сокращению объемов производства традиционного сырья для битумов – нефтяного гудрона. Его дефицит и возрастающая нестабильность качественных характеристик приводят к снижению объемов производства качественных битумных вяжущих [3].

Параллельно с этим в Российской Федерации наблюдается устойчивая тенденция по увеличению загрузки и мощностей установок вторичных процессов, прежде всего каталитического крекинга и замедленного коксования. Это закономерно ведет к увеличению объемов производства тяжелых побочных продуктов, таких как тяжелый газойль каталитического крекинга и тяжелый газойль коксования, не являющихся товарными нефтепродуктами и требующих дальнейшей технологически сложной и дорогостоящей переработки [4].

В свете этих факторов актуальной задачей становится поиск рациональных направлений утилизации тяжелых газойлей. Одним из перспективных представляется их использование в качестве дополнительного сырья для производства окисленных битумов к высоковязкому традиционному сырью – гудрону.

Объекты и методы исследования

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

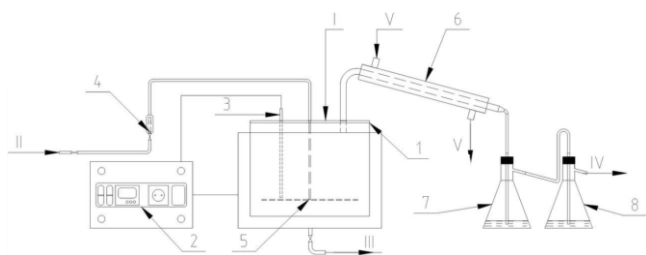


Рис. 1 – Схема лабораторной установки получения окисленных битумов

Fig. 1 - Scheme of a laboratory unit for the oxidized bitumen production

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 маточник 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 выставляется температура в реакторе на блоке управления 2, измерение температуры внутри реактора осуществляется с помощью погружного датчика температуры 3 (термопара). Далее, по достижении необходимой температуры, с помощью компрессора подается воздух II через редуктор расхода 4, расход воздуха зависит от марки битума, которую необходимо получить. В ходе реакции образуются газы окисле-

ния, 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 (черный соляр). 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.

В качестве объекта исследования применялись гудрон, тяжелый газойль коксования и тяжелый газойль каталитического крекинга производства АО «Газпромнефть – ОНПЗ».

Характеристика гудрона приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика и групповой состав гудрона

Table 1 – Characterization and group composition of vacuum residue

Наименование показателя	Значение
Плотность при 15°C, кг/м ³	997,7
Глубина проникания иглы при 25°C, *0,1мм	472
Температура вспышки, °C	327
Вязкость кинематическая при 80°C, мм ² /с	1286
Групповой состав	
Содержание асфальтенов, %мас.	3,5
Содержание масел, %мас.	59,2
Содержание смол, %мас.	37,3

Как видно из данных таблицы 1, гудрон производства АО «Газпромнефть – ОНПЗ» обладает невысоким содержанием асфальтенов и крайне высоким суммарным содержанием мальтеновой составляющей – смол и масел (в частности, масел), что может быть обусловлено характером перерабатываемой на НПЗ легкой нефти, поступающей на завод с ряда месторождений Западной Сибири [5].

Характеристика газойлевых фракций вторичных процессов – тяжелого газойля каталитического крекинга (ТГКК) и тяжелого газойля коксования (ТГК) приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика тяжелого газойля коксования и тяжелого газойля каталитического крекинга

Table 2 - Characteristics of heavy coking gas oil and heavy catalytic cracking gas oil

Наименование показателя	ТГК	ТГКК
Плотность при 15°C, кг/м ³	1041,9	1062,1
Плотность при 20°C, кг/м ³	1037,6	-
Температура вспышки в открытом тигле, °C	-	176
Вязкость кинематическая при 80°C, сСт	8,93	-

Обсуждение результатов исследования

Для производства окисленных битумов высокого качества требуется оптимальное соотношение компонентов группового состава в сырье (гудроне) – масел, смол и асфальтенов [6]. 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) [7]:

$$A+C-2,5П \geq 8. \quad (1)$$

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

Вторым немаловажным фактором, обеспечивающим получение качественных битумных вяжущих из исходного сырья, является технологический режим – значения температур, давления, удельного расхода воздуха, времени пребывания сырья в реакционной зоне. Известно, что для получения битума, обладающего широким температурным интервалом эксплуатации, пластичности и устойчивого к процессам термоокислительного старения, необходимо обеспечить проведение процесса окисления в «мягком режиме» - при низких значениях температур, удельного расхода воздуха и давления [6].

Для проведения исследований были приготовлены образцы смесового сырья из гудрона и тяжелого газойля коксования (ТГК), а также гудрона и тяжелого газойля каталитического крекинга (ТГКК) при соотношении компонентов 90:10, 95:5 % мас. соответственно. Окисления проводились при следующих технологических параметрах: температура 230°C, расход воздуха 7,5 л/мин при загрузке реактора 1900±50г и различном времени окисления.

Полученные образцы проверялись на соответствие национального стандарта на нефтяные дорожные битумы 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.

Оценка свойств образцов окисленных битумов осуществлялась в соответствии с ГОСТ 33133-2014. Перечень показателей качества и методики их определения приведены в таблице 3.

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

Как видно из данных таблицы 3, получение битума марки БНД 100/130 требуемого качества из гудрона производства Омского нефтеперерабатывающего завода прямым окислением не является возможным ввиду высокого содержания масляных компонентов в сырье и, как следствие, в конечном продукте окисления, что приводит к неудовлетворительным значениям температуры размягчения. Проведение

окисления при более высоких температурах не является целесообразным ввиду ухудшения низкотемпературных свойств и пластичности получаемого продукта, в том числе и растяжимости при 0°C [8,9].

В то же время, образец, полученный окислением моносырья – гудрона, имеет неудовлетворительные значения по ряду показателей термоокислительной стабильности: изменение температуры размягчения после прогрева, коэффициент изменения динамической вязкости. Невысокая термоокислительная стабильность битума также может быть объяснена групповым составом исходного сырья и, как следствие, получаемого продукта, а именно высоким содержанием масляных компонентов, легко подвергающихся радикально-цепным процессам термоокислительной поликонденсации и испарения более легкокипящих компонентов, преобладающих в процессе старения битумного вяжущего [10].

Таблица 3 – Перечень оцениваемых показателей образцов окисленных битумов

Table 3 - 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	-

Образцы битума, полученные с использованием тяжелого газойля коксования в количестве до 10%мас. в качестве компонента сырья окисления также не удовлетворяют требованиям стандарта ГОСТ 33133-2014 по показателям теплостойкости и термоокислительной стабильности.

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						Норма по ГОСТ 33133-2014 для БНД 100/130
	1	2	3	4	5	6	
	Г = 100; t = 230 °С; τ = 90 мин	Г: ТГК = 95:5; t = 230 °С; τ = 105 мин	Г: ТГК = 95:5; t = 230 °С; τ = 90 мин	Г: ТГК = 90:10; t = 230 °С; τ = 90 мин	Г: ТГКК = 95:5; t = 230 °С; τ = 90 мин	Г: ТГКК = 90:10; t = 230 °С; τ = 90 мин	
П25, 0,1 мм	88	85	105	92	132	103	101-130
Тразм, °С	46,3	47,6	44,1	45,4	41,4	44,7	≥45
Д0, см	3,53	3,77	4,24	4,05	5,12	4,33	≥3,7
Тхр, °С	-25	-23	-28	-32	-27,4	-26,3	≤-18
ДВ60, Условие 1, Па·с	274,778	334,928	199,027	350,726	160,615	277,156	≥70
ΔМ, %	0,06	0,10	0,08	0,06	0,18	0,16	≤0,6
ΔТразм°С	-23,2	7,8	8,5	8,1	8,6	6,6	≤0,6
В60 после старения, Условие 1, Па·с	1396	2006,623	993,714	1323,249	650,624	750,583	≥150
ΔВ60	5,08	5,99	4,99	3,77	4,05	2,71	≤3,5

Таблица 5 – Групповые составы образцов окисленных битумов

Table 5 – Group composition of oxidized bitumen samples

Наименование группового компонента для образца	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
А, % масс.	13	13,6	14	-	-	16
М, % масс.	48,5	49,1	46,3	-	-	41
С, % масс.	38,5	37,3	39,7	-	-	43

С ростом содержания тяжелого газойля коксования в сырье окисления для образцов, обладающими сопоставимыми значениями показателя глубины проникания иглы наблюдается увеличение значения показателя динамической вязкости при 60°С, а также первоначальное увеличение, а затем снижение величины показателя температуры хрупкости, что может быть объяснено использованием газойлевой фракции в качестве компонента сырья, повышающей в нем содержание масел. Повышенное значение динамической вязкости может быть объяснено большей степенью конденсированности вводимой в сырье газойлевой фракции, что приводит к более высокой степени конденсированности масляных компонентов в составе сырья и, как следствие, новообразованных смол и асфальтенов в структуре окисленного битума [11].

К тому же, увеличение содержания тяжелого газойля коксования в сырье окисления не оказывает значительного влияния на показатели, характеризующие термоокислительную стабильность, однако с ростом содержания данного компонента происходит снижения коэффициента изменения динамической вязкости (рис. 2).

Таким образом, использование тяжелого газойля коксования в качестве компонента сырья окисления для производства нефтяных битумов является перспективным с точки зрения улучшения реологических свойств битумного вяжущего, а также его морозостойкости. Кроме того, использование данной вторичной фракции не оказывает негативного влияния на термоокислительную стабильность вяжущего и, следовательно, на его эксплуатационную долговечность.

Далее проводилось исследование о возможности использования в качестве компонента сырья окисления тяжелого газойля каталитического крекинга при концентрации в сырье 5 и 10 %масс.

Из данных таблицы 3 видно, что образцы, полученные с использованием тяжелого газойля каталитического крекинга, также не удовлетворяют требованиям стандарта по показателю теплостойкости.

Образец 5, полученный с использованием 5 %мас. тяжелого газойля каталитического крекинга в качестве компонента сырья окисления, по сравнению с образцом 1, полученным при окислении гудрона при аналогичных технологических параметрах, обладает существенно более высоким значением глубины проникновения иглы при 25°С (марки битума БНД 130/200 и БНД 70/100 соответственно) и, как следствие, более низкими значениями температур размягчения, хрупкости и динамической вязкости при более высоком значении изменения температуры размягчения и массы образца после старения, что свидетельствует о влиянии 5 %мас. ТГКК как пластификатора конечного получаемого окисленного битума.

Однако с ростом содержания тяжелого газойля каталитического крекинга в сырье окисления до 10% мас. происходит снижение значение глубины проникания иглы при 25°С и соответствующее увеличение температуры размягчения, температуры хрупкости,

динамической вязкости по Условию 1 при 60°C, снижении растяжимости битума при 0°C.

С увеличением содержания ТГКК в сырье окисления наблюдается, с одной стороны, ухудшение значения некоторых показателей окислительной стабильности: изменения температуры размягчения (при 5 % мас.) и изменение массы образца после старения (рис. 3), а другой стороны общее повышение термоокислительной стабильности битума: изменение температуры размягчения у образца №6 ниже, чем у образца №1 (рис. 4), значительное снижение коэффициента изменения динамической вязкости с ростом содержания ТГКК в сырье окисления, что, в свою очередь, говорит о меньшей степени изменения коллоидной структуры вяжущего (рис. 2) [12].

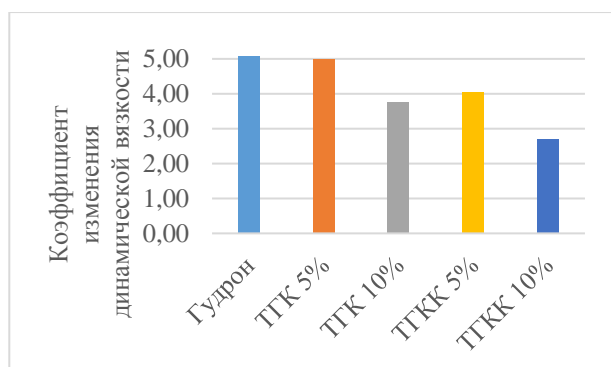


Рис. 2 – Зависимость коэффициента изменения динамической вязкости образцов от содержания вторичных фракций в сырье окисления

Fig. 2 - Dependence of the coefficient of variation of dynamic viscosity of samples from the content of secondary fractions in the oxidation feed

Как уже было сказано ранее, старение битумного вяжущего происходит за счет параллельного протекания двух процессов:

1. испарение более легкокипящих масляных компонентов битума – уменьшение массы;
2. поглощение битумом кислорода воздуха в ходе протекания процессов термоокислительной конденсации – увеличение массы [13].

Более высокая термоокислительная стабильность образца №6 по сравнению с образцом №1 объясняется, во первых, изменением группового состава – при аналогичном содержании асфальтенов с образцом №1, образец №6 обладает значительно более низким содержанием масел и более высоким содержанием смол, а во вторых более высокой степенью ароматичности масляных компонентов, связанной с использованием тяжелого газойля каталитического крекинга как компонента сырья, обладающего повышенной концентрацией ароматических углеводородов [14,15].

Таким образом, использование тяжелого газойля каталитического крекинга в качестве компонента сырья окисления для производства нефтяных битумов является перспективным с точки зрения улучшения морозостойкости, термоокислительной стабильности и пластичности битумного вяжущего. Кроме того, использование данной вторичной фракции позволяет

повысить степень ароматичности сырья и, как следствие, получаемого продукта.

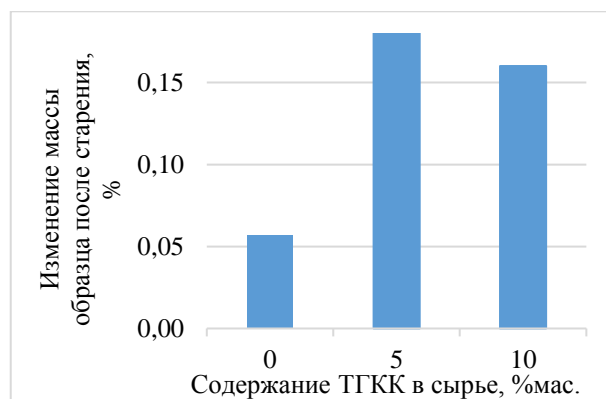


Рис. 3 – Зависимость изменения массы образца после старения от содержания тяжелого газойля каталитического крекинга в сырье

Fig. 3 - Dependence of the sample mass change after aging on the heavy catalytic cracking gas oil in the raw material

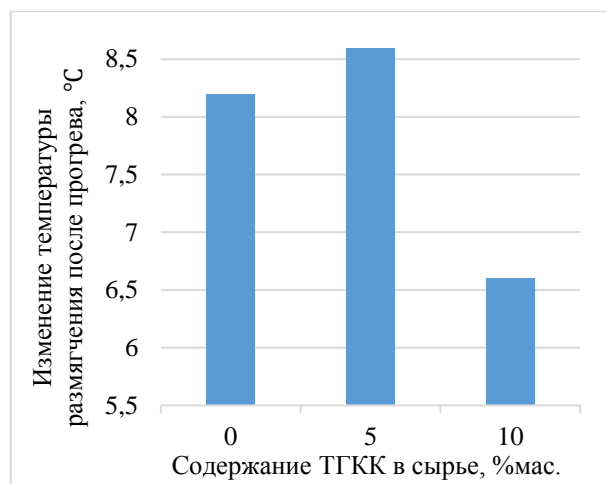


Рис. 4 – Зависимость изменения температуры размягчения после прогрева от содержания тяжелого газойля каталитического крекинга в сырье

Fig. 4 - Dependence of the softening point difference after aging on the heavy catalytic cracking gas oil in the raw material

Заключение

1. Установлено, что для получения дорожного окисленного битума из гудрона производства ОНПЗ, соответствующего требованиям ГОСТ 33133-2014 необходимо использование технологии «переокисление – компаундирование». Битумы, полученные при прямом окислении данного сырья, не удовлетворяют нормативным требованиям по показателям теплоустойчивости и термоокислительной стабильности.

2. Установлено, что использование тяжелого газойля коксования позволяет существенно улучшить реологические свойства битумного вяжущего, а также его морозостойкость. Кроме того, использование данной вторичной фракции не оказывает негативного влияния на термоокислительную стабиль-

ность вяжущего и, следовательно, на его эксплуатационную долговечность. Для получения дорожного окисленного битума из смесового сырья, состоящего из гудрона и тяжелого газойля коксования производства ОНПЗ, соответствующего требованиям ГОСТ 33133-2014 также необходимо использование технологии «переокисление – компаундирование».

3. Установлено что использование тяжелого газойля каталитического крекинга в качестве компонента сырья производства нефтяных битумов позволяет повысить термоокислительную стабильность, морозостойкость и пластичность получаемого продукта, а также содержание в нем ароматических углеводородов. Для получения дорожного окисленного битума из смесового сырья, состоящего из гудрона и тяжелого газойля каталитического крекинга производства ОНПЗ, соответствующего требованиям ГОСТ 33133-2014 также необходимо использование технологии «переокисление – компаундирование».

Литература

1. Д. А. Розенталь, *Нефтяные окисленные битумы*. ЛТИ, Ленинград, 1973. 47 с.
2. О. Джумаева, Н.Л. Солодова, Е.А. Емельянычева, *Вестник технол. ун-та*, 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 СПбГИ(ТУ)*, 54, 41-44 (2020).
5. Т. Л. Канделаки, *Нефтепереработка, газопереработка и нефтехимия в РФ 2021-2035*. ИнфоТЭК-КОНСАЛТ, Москва, 2022. 886 с.
6. Р. Б. Гун, *Нефтяные битумы*. Химия, Москва, 1989. 148 с.
7. С. К. Буканова, Ю. А. Кутын, 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. М.М.Кульпо, С.М. Ткачев, Е.А. Ермак, *Вестник Полоцкого государственного университета, Серия В*, 2, 2, 64-67 (2003).

11. Р. И. Сибгатуллина, А. И. Абдуллин, Е. А. Емельянычева, Г. К. Бикмухаметова *Вестник технол. ун-та*, 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).

References

1. D. A. Rosenthal, *Petroleum oxidized bitumen*. LTI, Leningrad, 1973. 47 p.
2. O. Dzhumaeva, N.L. Solodova, E.A. Yemelyanycheva, *Herald of Technological University*, 18, 20, 132-136 (2015).
3. M.V. Klykov, T.V. Alushkina, Yu.A. Zharinov, Online publication "Oil and Gas business", 1, 260-281 (2020).
4. S.V. Dronov, A.N. Nechaev, V.M. Kuznetsova, *Izvestiya SPbGTI(TU)*, 54, 41-44 (2020).
5. T. L. Kandelaki, *Oil refining, gas processing and petrochemistry in the Russian Federation 2021-2035*. InfoTEK-CONSULT, Moscow, 2022. 886 p.
6. R. B. Gun, *Petroleum bitumen*. Chemistry, Moscow, 1989. 148 p.
7. S. K. Bukanova, Yu. A. Kutyn, 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. Yu.K. Taramov, P.S. Tsamaeva, A.A., Elmurzaev, *Bulletin of GGNTU*, 18, 2, 54-62 (2022).
10. M.M.Kulpo, S.M. Tkachev, E.A. Ermak, *Bulletin of Polotsk State University, Series B*, 2, 2, 64-67 (2003).
11. R. I. Sibgatullina, A. I. Abdullin, E. A. Yemelyanycheva, G. K. Bikmukhametova *Herald of Technological University*, 19, 2, 41-47 (2016).
12. I. B. Grudnikov, *Production of petroleum bitumen*. Chemistry, Moscow, 1983. 192 p.
13. A. R. Makhmutova, N. G. Evdokimova, D. D. Karaskina, G. V. Koshko, *Chemistry and technology of fuels and oils*, 5, 43-46 (2023).
14. N.A. Rybachuk, *Bulletin of the IrSTU*, 2, 120-125 (2015).
15. R. R. Vezirov, *Bashkir Chemical Journal*, 17, 3, 189-195 (2010).

© 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; Л. В. Хасанзянова – бакалавр кафедры ХТПНГ, КНИТУ, lhasanzyanova@yandex.ru; А. А. Тенников – руководитель направления пилотных установок НИЦ «Битумные материалы» ООО «Газпромнефть – Промышленные Инновации», Санкт-Петербург, Россия, bitum@gazprom-neft.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 of Oil and Gas Processing (CTOGP), Kazan National Research Technological University (KNRTU); Chief Specialist at the Research Center for Bituminous Materials (RC BM), 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; L. V. Khasanzyanova – Bachelor-Student of the CTOGP department, KNRTU, lhasanzyanova@yandex.ru; A. A. Tennikov – Head of the Pilot Installations Department at the RC BM, Gazpromneft – Industrial Innovations LLC, Sankt-Petersburg, Russia, bitum@gazprom-neft.ru; A. S. Kukin – Head of the Department at the RS BM at Gazpromneft – Industrial Innovations LLC, bitum@gazprom-neft.ru; N. Yu. Bashkirtseva – Doctor of Sciences (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 – 20.03.26.