

С. А. Антонов (к.х.н, зав. лаб. ¹, доц. ^{2а}), В. В. Поздняков (к.х.н., гл. спец.) ³,
С. Г. Кутеева (инж.-техн.) ³, А. И. Матвеева (с.н.с. ¹, асп. ^{2а}),
П. М. Тюкилина (д.т.н., зам. ген. дир.) ³, И. А. Пронченков (н.с. ¹, асп. ^{2б})

ПОЛУЧЕНИЕ ОКИСЛЕННЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ МАРОК PG ИЗ НАФТЕНО-АРОМАТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

¹ АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти»,
отдел смазочных материалов

111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 6, стр. 2; e-mail: antonovsa@vniinp.rosneft.ru

² Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина,

^а кафедра химии и технологии смазочных материалов и химмотологии,

^б кафедра технологии переработки нефти

119991, г. Москва, Ленинский пр., 65; e-mail: matveevaai@vniinp.rosneft.ru

³ АО «Средневожский научно-исследовательский институт по нефтепереработке»,
отдел битумов и тяжелых продуктов

446200, г. Новокуйбышевск, ул. Научная, д. 1; e-mail: pozdniakovvv@sni.rosneft.ru

S. A. Antonov ^{1,2}, V. V. Pozdnyakov ³, S. G. Kuteeva ³,
A. I. Matveeva ^{1,2}, P. M. Tyukilina ³, I. A. Pronchenkov ^{1,2}

PRODUCTION OF OXIDIZED PG GRADE ROAD BITUMEN FROM NAPHTHENIC AROMATIC OIL

¹ All-Russian Research Institute of Oil Refining

6/2, Aviamotornaya Str., 111116, Moscow, Russia; e-mail: antonovsa@vniinp.rosneft.ru

² Gubkin University

65, Leninsky Prospekt Str., 119991, Moscow, Russia; e-mail: matveevaai@vniinp.rosneft.ru

³ JSC «Middle Volga Oil Refining Research Institute»

1, Nauchnaya Str., 446200, Novokuybyshevsk, Russia; e-mail: pozdniakovvv@sni.rosneft.ru

Исследован остаток вакуумной перегонки тяжелой нефти Северо-Комсомольского месторождения, выкипающий при температуре более 500 °С. Представлены результаты окисления гудрона до битумов с разным значением сдвиговой устойчивости, определяемой по методу ГОСТ Р 58400.10. Показано, что для получения востребованных низкотемпературных высоковязких базовых масел и дорожных битумных вяжущих марок PG по ГОСТ Р 58400.1 оптимальным вариантом переработки тяжелых нафтенно-ароматических нефтей Северо-Комсомольского месторождения является отбор на атмосферно-вакуумной трубчатке (АВТ) масляных фракций из мазута до 500 °С (38.2% остатка) с последующим окислением остатков вакуумной перегонки.

Ключевые слова: битумные вяжущие марок PG; дорожный битум; тяжелая нафтенно-ароматическая нефть; тяжелые нефтяные остатки.

The article examines the residue of vacuum distillation of heavy oil from the Severo-Komsomolskoye field, which boils off at temperatures above 500 °C. The results of the oxidation of tar to bitumen with different values of shear stability, determined by the method of GOST R 58400.10, are presented. It is shown that in order to obtain the demanded low-temperature high-viscosity base oils and road bitumen binders of grades PG according to GOST R 58400.1 the best option for processing heavy naphthenic aromatic oils of the Severo-Komsomolskoye field is the selection of oil fractions from fuel oil up to 500 °C (38.2% of the residue), followed by oxidation of the vacuum distillation residues.

Key words: heavy naphthenic aromatic oil; heavy oil residues; oxidized petroleum road bitumen; PG grade.

Применение современных битумных вяжущих по новым техническим требованиям ГОСТ Р 58400.1-2019, ГОСТ Р 58400.2-2019 (в рамках комплексной системы проектирования составов асфальтобетонных смесей Superpave по ГОСТ Р 58401.2-2019), а также методом проектирования «Евроасфальт» по ГОСТ Р 58406.1-2020, набирает обороты. По этой технологии за несколько лет построено уже 13 объектов в различных областях Центрального и Южного федеральных округов.

Одним из наиболее амбициозных и уже завершенных проектов с применением битумных вяжущих PG марок является строительство скоростной дороги М-12 (Москва – Нижний Новгород – Казань). При устройстве верхнего слоя ее основания применены битумы марок PG 64-28, PG 58-28, нижнего слоя покрытия – PG 64-34, PG 64-28 и верхнего слоя покрытия – PG 70-34, PG 70-28, PG 64-28 ¹⁻³.

Планируется продление данной трассы на Восток до Екатеринбурга и далее до Владивостока, что повысит спрос на низкотемпературные PG марки битумных вяжущих производства близлежащих НПЗ или битумных терминалов.

Известно, что дорожные битумы, полученные из тяжелых нефтено-ароматических нефтей, имеют хорошие низкотемпературные показатели. Например, из вакуумных остатков нефти Ярегского месторождения Тимано-Печорской провинции получали широкую линейку специальных битумных продуктов, востребованных как внутри страны, так и за границей ⁴. Так, Северо-Комсомольское нефтегазоконденсатное месторождение, расположенное на территории Надымского и Пу-ровского районов Ямало-Ненецкого АО, является одним из крупнейших по запасам высоковязкой нефти. Месторождение содержит порядка 50 залежей углеводородов в отложениях от верхнемело-

вых до юрских (пласты группы ПК, АП, БП, Ач, Ю). Залежь пласта ПК1 покурской свиты сеномана (верхний мел) является основной, состоит из нефтяной оторочки толщиной 20 м и газовой шапки высотой около 40 м. Основным объектом разработки Северо-Комсомольского месторождения является пласт ПК1. Нефть пласта ПК1 по свойствам схожа с нефтью Русского месторождения и относится к нефтено-ароматическому химическому типу, тяжелая (плотность 0.822–0.917 г/см³), высоковязкая (46–107 мПа·с), содержание серы 0.7% мас., парафинов – 1.2% мас., смол и асфальтенов – 21.5% мас. ⁵⁻⁷. Извлекаемые запасы Северо-Комсомольской нефти оцениваются в 200 млн т, при этом данные о возможности получения окисленных битумов из нее отсутствуют.

Таким образом, исследование оптимальных вариантов переработки тяжелых нефтено-ароматических нефтей Северо-Комсомольского месторождения для получения битумов марок PG, отвечающих самым современным требованиям дорожной отрасли, является актуальным.

Целью настоящей работы являлось изучение физико-химических свойств вакуумного остатка нефти Северо-Комсомольского месторождения, выкипающего при температуре выше 500 °С, при получении низкотемпературных базовых основ масел, а также окисленных дорожных битумов по ГОСТ Р 58400.1-2019 и ГОСТ Р 58400.2-2019 на его основе.

Материалы и методы исследования

Мазут (остаток атмосферной перегонки с температурой кипения выше 360 °С) из образца нефти Северо-Комсомольского месторождения в лабораторных условиях был подвергнут вакуумной перегонке с получением вакуумного остатка

Таблица 1

Физико-химические свойства нефти Северо-Комсомольского месторождения и образца гудрона (остаток > 500 °С)

Наименование показателей	Образец нефти	Гудрон	Метод испытания
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при:			
20 °С	774.9	-	ГОСТ 33
40 °С	168.4	-	
50 °С	91.92	-	
Плотность при 20 °С, кг/м ³	947	994	ГОСТ 3900
Температура застывания, °С	–20	-	ГОСТ 20287
Температура вспышки в открытом тигле, °С	-	310	ГОСТ 4333
Вязкость динамическая, Па·с, при скорости сдвига 65 с ⁻¹ при температуре испытания:			ГОСТ 33137
60 °С	-	6.696	
135 °С	-	0.032	
Содержание металлов, ppm:			ГОСТ 34242
никель	5	16	
ванадий	9	27	
Содержание серы, % мас.	0.615	1.104	ГОСТ Р 32139
Отбор дистиллята из мазута, % мас.	-	61.8	-

(образца гудрона), выкипающего выше 500 °С. У образцов нефти и гудрона были исследованы физико-химические свойства стандартными методами (табл. 1).

Определение группового химического состава (ГХС) образца гудрона проводили на приборе Градиент-М согласно методике выполнения измерений АО ИНХП «Тяжелые нефтепродукты. Определение группового химического состава с использованием жидкостно-адсорбционной хроматографии с градиентным вытеснением». Результаты ГХС гудрона представлены на рис. 1.

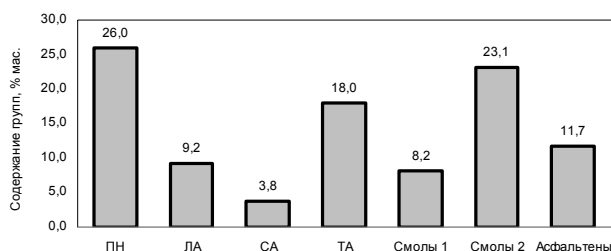


Рис. 1. Групповой химический состав вакуумного остатка >500 °С, полученного из мазута Северо-Комсомольской нефти: ПА – парафино-нафтеновые углеводороды; ЛА, СА, ТА – легкие, средние и тяжелые ароматические углеводороды соответственно

Окисление гудрона до битумов разных марок PG проводили в лабораторном реакторе с механическим перемешиванием периодического действия в лаборатории АО «СвНИИ НП». Условия окисления: загрузка сырья – 2.0–2.2 кг, температура процесса – 235–240 °С, расход воздуха на окисление – 1.5 л/мин на 1 кг сырья.

Для окисленных образцов битумных вяжущих были определены по ГОСТ Р 58400.1-2019 и ГОСТ Р 58400.2-2019 следующие показатели:

- динамическая вязкость по ГОСТ 33137 на Реометре Rheolab QC «Anton Paar» (Австрия);
- сдвиговая и усталостная устойчивость по ГОСТ Р 58400.10, устойчивость к сдвиговым деформациям по ГОСТ Р 58400.6 на динамическом сдвиговом реометре (DSR) Physica MCR 102 SmartPave «Anton Paar» (Австрия);
- старение вяжущих под воздействием высокой температуры и воздуха (RTFOT) по ГОСТ 33140 на аппарате Scavini модель AD2872-100 (Италия);
- старение вяжущих под действием давления и температуры (PAV) по ГОСТ Р 58400.5 в печах для старения PAV и дегазации DVO «IPC global CONTROLS Group» (Италия);
- параметры жесткость и ползучесть (параметр m) балочки битума при отрицательных температурах по ГОСТ Р 58400.8 с помощью реометра, изгибающего балочку (BBR) модель TE-BBR-F «Cannon Instruments» (США);

- температура растрескивания по ГОСТ Р 58400.11 на 4-х кольцевой системе ABCD EZ Asphalt Technology LLC. (США) с климатической камерой Testa TNC 22 (заливка проб в силиконовые формы проводилась с помощью металлического обогреваемого шприца для заливки форм ABCD).

Результаты исследований образцов окисленного битума, полученных из гудрона, на соответствие маркам PG по ГОСТ Р 58400.1-2019 приведены в табл. 2 и 3.

Результаты и их обсуждение

В продолжение ранее проведенных работ по исследованию потенциала получения востребованных дорожных вяжущих из тяжелых нефтей месторождений РФ^{8–11} изучена возможность получения битумов PG марок из нефти Северо-Комсомольского месторождения окислением вакуумного остатка (гудрона), выкипающего при температуре выше 500 °С.

При отборе из мазута тяжелой нефти Северо-Комсомольского месторождения до 62% дистиллятных фракций (остаток > 360 °С) получили гудрон, соответствующий требованиям ГОСТ Р 58400.1 к марке PG 28-40 (табл. 2), с высоким потенциалом получения из него окислением битумных вяжущих с хорошими низкотемпературными свойствами (от –40 до –22 °С), востребованными для применения в климатических зонах РФ в соответствии с современными требованиями новейших стандартов дорожной отрасли ГОСТ Р 71009 (введен в действие на территории РФ с 1 февраля 2024 г.) и ГОСТ Р 71404 (введен в действие на территории РФ с 1 сентября 2024 г.)^{12–13}.

Из табл. 2, видно, что при окислении гудрона происходит существенное изменение его группового химического состава, что приводит к увеличению вязкости и сдвиговой устойчивости:

- динамической вязкости при 135 °С (Па·с) с 0.03 до 0.52;
- критической высокой температуры с 35.6 до 73.2 °С (ГОСТ Р 58400.3), когда показатель $G^*/\sin\delta$ равен 1.00 кПа.

Наблюдаемые изменения, а именно, увеличение массы образца (изменение массы после старения) и снижение критической высокой температуры после прогрева в тонкой пленке (RTFOT) (табл. 2), связаны с групповым химическим составом гудрона нефти Северо-Комсомольского месторождения (табл. 1). Полученные результаты демонстрируют преобладание окислительных процессов с видоизменением ароматических структур над процессами их термической деструкции и потери соединений, летучих при температуре испытания (163 °С).

Таблица 2

**Результаты исследований образцов гудрона и окисленных битумных вяжущих
по ГОСТ Р 58400.1**

Наименование показателя	Норма по ГОСТ Р 58400.1	Гудрон	Окисленные битумные вяжущие					Метод испытания
			Продолжительность окисления, мин					
			150	185	205	225	235	
Показатели качества и требования для исходного битумного вяжущего								
Динамическая вязкость при 135 °С, Па·с	≤ 3.0	0.032	0.102	0.181	0.259	0.392	0.520	ГОСТ 33137
Сдвиговая устойчивость G*/sinδ при 10 рад/с, кПа	≥ 1.0	при 34 °С 1.25	при 52 °С 1.40	при 58 °С 1.36	при 64 °С 1.01	при 64 °С 1.97	при 70 °С 1.50	ГОСТ Р 58400.10-2019
		при 40 °С 0.53	при 58 °С 0.64	при 64 °С 0.63	при 70 °С 0.47	при 70 °С 0.90	при 76 °С 0.71	
Критическая высокая температура G*·sin δ = 1.00 кПа, °С		35.6	54.6	60.4	64.1	69.2	73.2	ГОСТ Р 58400.3-2019
Показатели качества и требования для битумного вяжущего, состаренного по методу RTFOT								
Изменение массы после старения, %	≤ 1	-0.133	-0.049	-0.030	-0.096	-0.091	-0.017	ГОСТ 33140
Сдвиговая устойчивость после старения G*/sinδ при 10 рад/с, кПа	≥ 2.2	при 28 °С 5.20	при 52 °С 2.40	при 58 °С 2.47	при 58 °С 4.30	при 64 °С 3.51	при 70 °С 2.82	ГОСТ Р 58400.10-2019
		при 34 °С 1.99	при 58 °С 1.06	при 64 °С 1.10	при 64 °С 1.87	при 70 °С 1.57	при 76 °С 1.29	
Критическая высокая температура G*·sin δ = 2.2 кПа, °С		33.4	52.6	58.9	62.8	67.5	71.9	ГОСТ Р 58400.3-2019
Показатели качества и требования для битумного вяжущего, состаренного по методу PAV								
Усталостная устойчивость после старения при 10 рад/с, кПа	≤ 5000	при 1 °С 2618	при 7 °С 4212	при 10 °С 4279	при 10 °С 4826	при 13 °С 3965	при 13 °С 4878	ГОСТ Р 58400.10-2019
		при -5 °С 4979	при 4 °С 6264	при 7 °С 6067	при 7 °С 6636	при 10 °С 5384	при 10 °С 6420	
Критическая средняя температура G*·sin δ = 5000 кПа, °С		-2.0	5.7	8.7	9.7	10.8	12.7	ГОСТ Р 58400.3-2019
Критическая средняя температура G*·sin δ = 6000 кПа, °С		-2.9	4.4	7.1	8.0	8.9	10.8	ГОСТ Р 58400.3-2019

Таблица 3

**Результаты исследований низкотемпературных характеристик
образцов гудрона и окисленных битумных вяжущих**

Наименование показателя	Норма по ГОСТ Р 58400.1	Гудрон	Окисленные битумные вяжущие					Метод испытания
			Продолжительность окисления, мин					
			150	185	205	225	235	
Низкотемпературная устойчивость по методу BBR								
Жесткость S (60), МПа	не более 300	при -30 °С 210 при -36 °С 632	при -24 °С 107 при -30 °С 272	при -24 °С 138 при -30 °С 324	при -18 °С 65.7 при -24 °С 154	при -18 °С 74 при -24 °С 166	при -18 °С 89.7 при -24 °С 176	ГОСТ Р 58400.8-2019
Параметр m	не менее 0.300	при -30 °С 0.401 при -36 °С 0.267	при -24 °С 0.379 при -30 °С 0.307	при -24 °С 0.331 при -30 °С 0.282	при -18 °С 0.366 при -24 °С 0.323	при -18 °С 0.332 при -24 °С 0.301	при -18 °С 0.312 при -24 °С 0.283	
Критическая низкая температура по жесткости S (60) / параметру m, °С		-31.9 / -34.5	-30.6 / -30.6	-29.5 / -27.8	-28.8 / -27.4	-28.4 / -24.2	-27.8 / -20.5	ГОСТ Р 58400.3-2019
Фактическая марка (температурный диапазон эксплуатации (ТДЭ)) (по методу BBR)		33.4-41.9 (75.3)	52.6-40.6 (93.2)	58.9-37.8 (96.7)	62.8-37.4 (100.2)	67.5-34.2 (101.7)	71.9-30.5 (102.4)	ГОСТ Р 58400.3-2019
Марка PG по ГОСТ Р 58400.1-2019 (по методу BBR)		28-40	52-40	58-34	58-34	64-34	70-28	ГОСТ Р 58400.1-2019
Температура растрескивания по методу ABCD								
Температура растрескивания, °С		-41.5	-	-35.2	-	-	-	ГОСТ Р 58400.11-2019
Скачок деформации, %		29.6	-	24.1	-	-	-	
Напряжение разрушения, МПа		4.66	-	3.79	-	-	-	
Фактическая марка (температурный диапазон эксплуатации (ТДЭ)) (по методу ABCD)		33.4-41.5 (74.9)	-	58.9-35.2 (94.1)	-	-	-	ГОСТ Р 58400.3-2019
Марка PG по ГОСТ Р 58400.1-2019 (по методу ABCD)		28-40	-	58-34	-	-	-	ГОСТ Р 58400.1-2019

Графики, приведенные на рис. 2, наглядно демонстрируют изменения основных показателей качества битумных вяжущих PG марок: сдвиговой устойчивости $G^*/\sin\delta$ исходного и состаренного по методу RTFOT битумного вяжущего по ГОСТ Р 58400.10 (верхнее X-значение марки PG X-Y) и низкотемпературной устойчивости по ГОСТ Р 58400.8 (нижнее Y-значение марки PG X-Y), характеризующих их фактический температурный интервал работоспособности. Если устойчивость к сдвиговым воздействиям повышается, то низкотемпературная устойчивость снижается (рис. 2).

Битумные вяжущие с разной глубиной окисления (продолжительность окисления, мин) существенно различаются низкотемпературной устойчивостью, определяемой по двум параметрам - жесткости (S) и ползучести (параметр m) (метод ГОСТ Р 58400.8). У гудрона (сырья окисления) критическим параметром, определяющим нижнее Y-значение марки, является показатель жесткости (значение критической низкой температуры по жесткости $S(60)$ –31.9 °С, по параметру m –34.5 °С). У образца битума марки PG 52 (150 мин окисления) наблюдаются одинаковые значения по данным показателям (критической низкой температуры по жесткости $S(60)$ –30.6 °С и по параметру m –30.6 °С). У более окисленных битумов марки PG 58-70 (185–235 мин окисления) в качестве критического показателя выступает уже ползучесть (параметр m).

На рис. 2 показан характер изменения нижнего Y-значения марки PG X-Y битумных вяжущих по параметру m с увеличением степени окисления от –44.5 у гудрона (марка PG 28-40), до –30.5 у битума после 235 мин окисления (марка PG 70-28).

Таким образом, в ходе окисления гудрона, полученного из тяжелой нефти Северо-Комсомольского месторождения, удалось получить вос-

требованные в разных регионах РФ битумы марок PG 52-40, PG 58-34, PG 64-34, PG 70-28¹², что открывает перспективы получения востребованных нефтяных вяжущих без использования дорогостоящих полимеров и пластификаторов.

В соответствии с ГОСТ Р 58400.1 для определения нижнего Y-значения марки PG X-Y также возможно использовать метод измерения по ГОСТ Р 58400.11, заключающийся в определении температуры растрескивания на приборе ABCD при охлаждении в климатической камере образца вяжущего, залитого в специальную силиконовую форму с датчиком. Данный метод испытания, по сравнению с ГОСТ Р 58400.8, более трудоемкий, так как требует большего количества пробы, состаренной по ГОСТ 33140 и ГОСТ Р 58400.5.

С целью сравнения значений, получаемых по ГОСТ Р 58400.8 и ГОСТ Р 58400.11, были выборочно определены температуры растрескивания различающихся по свойствам вяжущих – неокисленного гудрона и гудрона, окисленного в течение 185 мин (табл. 3). Для гудрона результаты определения нижнего Y-значения марки PG X-Y по двум методам схожи (–41.9 °С по ГОСТ Р 58400.8 и –41.5 °С по ГОСТ Р 58400.11), а для окисленного битума различаются на 2.6 °С (–37.8 °С по ГОСТ Р 58400.8 и –35.2 °С по ГОСТ Р 58400.11). Таким образом, при испытании вяжущего по методу ABCD отмечается заниженное значение, что приводит к сокращению его температурного диапазона эксплуатации (ТДЭ), то есть ограничению возможной применимости.

Результаты исследований образцов гудрона и окисленных битумных вяжущих по показателю «устойчивость к многократным сдвиговым деформациям» по ГОСТ Р 58400.6 при разных температурах испытания (от 34 до 70 °С), что необхо-

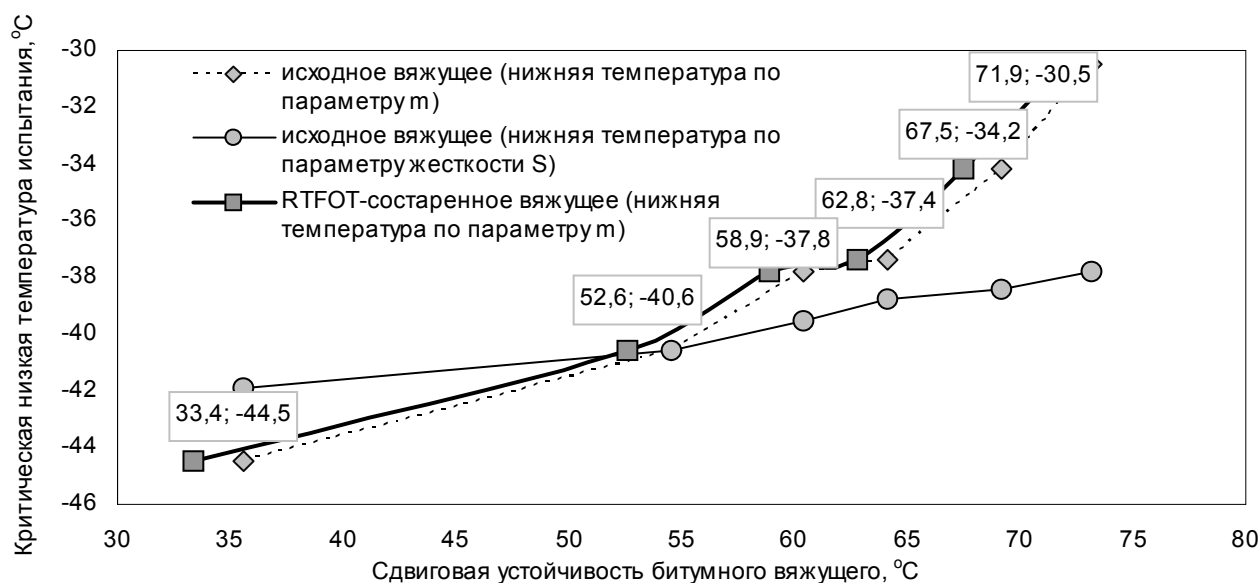


Рис. 2. Изменение свойств (сдвиговая устойчивость, критическая низкая температура) битумных вяжущих во время окисления

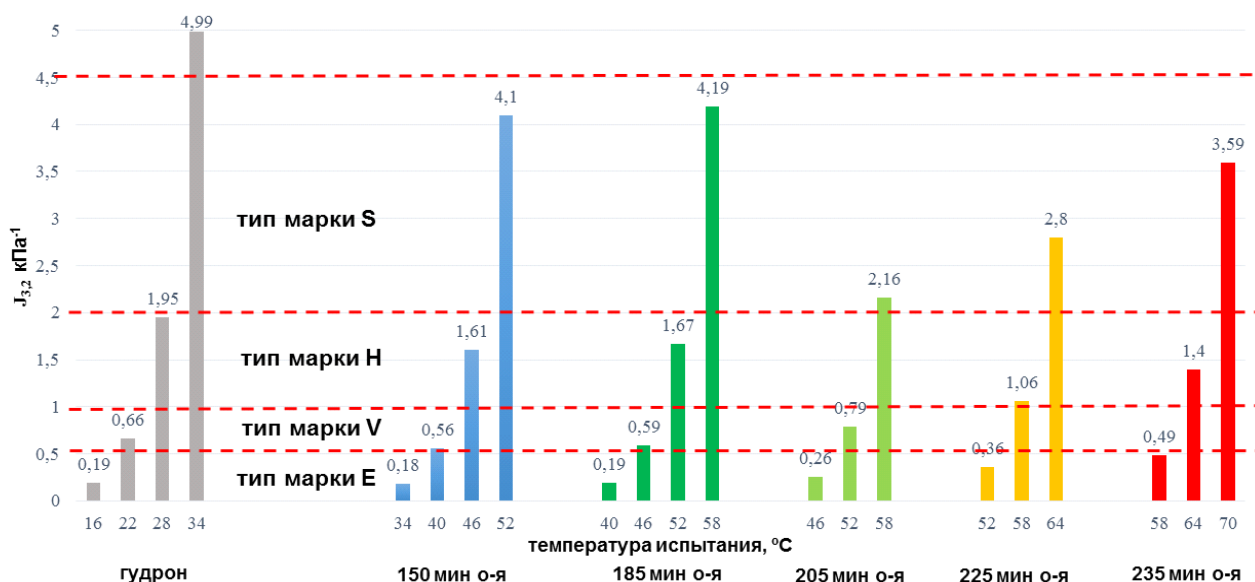


Рис. 3. Изменение устойчивости к многократным сдвиговым деформациям (тип марки S, H, V, E) битумных вяжущих по ГОСТ Р 58400.6 во время окисления

димо для определения типа марки (тип марки S, H, V, E) битумного вяжущего по ГОСТ Р 58400.2, приведены на рис. 3. Показано, что при окислении возможно получение следующих марок по ГОСТ Р 58400.2-2019 при определении нижней границы марки по ГОСТ Р 58400.8 (метод BBR):

- 52(S) –40, 46(H) –40 (образец 150 мин окисления);
- 58(S) –34, 52(H) –34, 46(V) –34 (образец 185 мин окисления);
- 58(S) –34, 52(V) –34, 46(E) –34 (образец 205 мин окисления);
- 64(S) –34, 58(H) –34, 52(E) –34 (образец 225 мин окисления);
- 70(S) –28, 64(H) –28, 58(E) –28 (образец 235 мин окисления).

На основе проведенных исследований выявлено, что при переработке тяжелых нефтено-ароматических нефтей на вакуумном блоке атмо-

ферно-вакуумной трубчатки АВТ, при отборе дистиллятных фракций в количестве до 61%, возможно получение серии востребованных в разных регионах РФ окисленных дорожных битумов марок PG 52-40, PG 58-34, PG 64-34, PG 70-28 по ГОСТ Р 58400.1. Установлено, что при определении нижней границы Y марки PG по ГОСТ Р 58400.8 (метод BBR) битумные вяжущие показывают наиболее широкий температурный диапазон эксплуатации.

Результаты испытаний битумных вяжущих, полученных из нефтено-ароматического сырья Северо-Комсомольской нефти, на устойчивость к многократным сдвиговым деформациям по ГОСТ Р 58400.6 показали существенный потенциал их применения в условиях тяжелых и экстремальных транспортных нагрузок на дорожное покрытие при отрицательных температурах, от –34 °С (марки 46(E) –34, 52(E) –34) до –40 °С (марка 46(H) –40).

Литература

- ГОСТ Р 58400.1-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические условия с учетом температурного диапазона эксплуатации. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.
- Рубежанский А., Кузин К. Переход на новые методы проектирования влечет за собой качественные изменения в привычном формате строительного контроля // Автомобильные дороги. – 2022. – №8 (1089). – С.44-47.
- Козлов А.В., Еремеев В.В., Алексеев В.В. Реализация современных подходов при строительстве автомобильной дороги М-12 «Восток» // Дорожная держава. – 2023. – №121. – С.22-27.
- Пискунов И.В., Глаголева О.Ф. Основные перспективы переработки нефти, производства топлив и нетопливных нефтепродуктов в условиях перехода к низкоуглеродной энергетике // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2021. – №7. – С.5-19.

References

- GOST R 58400.1-2019. *Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Materialy vyazhushchiye neftyanyye bitumnye. Tekhnicheskiye usloviya s uchetom temperaturnogo diapazona ekspluatatsii* [State Standard R 58400.1-2019. Public roads. Oil bitumen binders. Technical conditions taking into account the operating temperature range]. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 11 p.
- Rubezhanskii A., Kuzin K. *Perekhod na novye metody proektirovaniya vlechet za soboy kachestvennyye izmeneniya v privychnom formate stroitel'nogo kontrolya* [The transition to new design methods entails qualitative changes in the usual format of construction control]. *Avtomobil'nye dorogi* [Car roads], 2022, no.8, pp.44-47.
- Kozlov A.V., Ereemeev V.V., Alekseev V.V. *Realizatsiya sovremennykh podkhodov pri stroitel'stve avtomobil'noi dorogi M-12 «Vostok»* [Implementation of modern approaches in the construction of the M-12 «Vostok» highway]. *Dorozhnaia derzhava* [Road State], 2023, no.121, pp.22-27.

5. Северо-Комсомольское НГКМ. Источник: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/142244-severo-komsomolskoe-ngkm>.
6. Скоробогатов В.А., Давыдова Е.С., Кананыхина О.Г. Нефтеносность Западно-Сибирской мегапровинции // Вести газовой науки. – 2017. – №3 (31). – С.13-28.
7. Певнева Г.С., Фурсенко Е.А., Воронцовская Н.Г., Можайская М.В., Головкин А.К., Нестеров И.И., Каширцев В.А., Шевченко Н.П. Углеводородный состав и структурные характеристики смол и асфальтенов нефтяных нефтей севера Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2017. – Т.58, №3-4. – С.522-532.
8. Антонов С.А., Матвеева А.И., Пронченков И.А., Бартко Р.В., Никульшин П.А., Киякова А.Ю., Герасимов А.В. Особенности химического состава и свойств тяжелой нефтено-ароматической нефти и варианты ее квалифицированной переработки // Химия и технология топлив и масел. – 2022. – Т.58, №4. – С.3-8.
9. Поздняков В.В., Овсянников С.Ю., Тюкилина П.М., Соловьев Р.Е. Оптимизация переработки тяжелых остатков в условиях увеличения глубины переработки нефти // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2022. – №11-12. – С.19-27.
10. Антонов С.А., Поздняков В.В., Фалина О.С., Матвеева А.И., Пронченков И.А., Тюкилина П.М., Никульшин П.А., Киякова А.Ю. Оценка возможности получения окисленных дорожных битумов различных марок из гудронов тяжелой нефтено-ароматической нефти // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2023. – №1. – С.3-9.
11. Антонов С.А., Поздняков В.В., Кутеева С.Г., Матвеева А.И., Пронченков И.А., Тюкилина П.М., Бартко Р.В. Влияние отбора дистиллятных фракций из нефтено-ароматической нефти на качество окисленных дорожных битумов PG марок // Баш. хим. ж. – 2023. – Т.30, №2. – С.78-84.
12. ГОСТ Р 71009-2023. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Правила выбора марок. – М.: Институт стандартизации, 2023. – 41 с.
13. ГОСТ Р 71404-2024. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. – М.: Институт стандартизации, 2024. – 146 с.
4. Piskunov I.V., Glagoleva O.F. *Osnovnye perspektivy pererabotki nefti, proizvodstva topliv i netoplivnykh nefteproduktov v usloviyakh perekhoda k nizkouglerodnoy energetike* [Main prospects for oil refining, production of fuels and non-fuel oil products in the context of the transition to low-carbon energy]. *Neftepererabotka i neftekhimiya* [Oil refining and petrochemistry], 2021, no.7, pp.5-19.
5. <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/142244-severo-komsomolskoe-ngkm/>
6. Skorobogatov V.A., Davydova E.S., Kananykhina O.G. *Neftenosnost' Zapadno-Sibirskoy megaprovintsi* [Oil potential of the West Siberian megaprovince]. *Vesti gazovoi nauki* [News of gas science], 2017, no.3, pp.13-28.
7. Pevneva G.S., Fursenko E.A., Voronetskaia N.G., Mozhaishkaia M.V., Golovko A.K., Nesterov I.I., Kashirtsev V.A., Shevchenko N.P. *Uglevodorodnyi sostav i strukturnye kharakteristiki smol i asfal'tonov naftenovyykh neftey severa Zapadnoy Sibiri* [Hydrocarbon composition and structural characteristics of resins and asphaltenes of naphthenic oils in the north of Western Siberia]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2017, no.3-4, pp.522-532.
8. Antonov S.A., Matveeva A.I., Pronchenkov I.A., Nikulshin P.A., Kilyakova A.Yu., Gerasimov A.V. *Osobennosti khimicheskogo sostava i svoystv tyazheloy nafteno-aromaticheskoy nefti i varianty ee kvalifitsirovannoy pererabotki* [Features of the chemical composition and properties of heavy naphthene-aromatic oil and options for its qualified processing]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel* [Chemistry and technology of fuels and oils], 2022, no.4, pp.575-581.
9. Pozdniakov V.V., Ovsyannikov S.Iu., Tiukilina P.M., Solov'ev R.E. *Optimizatsiya pererabotki tiazhelykh ostatkov v usloviyakh uvelicheniya glubiny pererabotki nefti* [Optimization of processing of heavy residues under conditions of increasing oil refining depth]. *Neftepererabotka i neftekhimiya* [Oil refining and petrochemistry], 2022, no.11-12, pp.19-27.
10. Antonov S.A., Pozdniakov V.V., Falina O.S., Matveeva A.I., Pronchenkov I.A., Tyukilina P.M., Nikulshin P.A., Kilyakova A.Yu. *Otsenka vozmozhnosti polucheniia okislennykh dorozhnykh bitumov razlichnykh marok iz gudronov tyazheloy nafteno-aromaticheskoy nefti* [Evaluation of the possibility of obtaining oxidized road bitumens of various grades from heavy naphthene-aromatic oil tars]. *Neftepererabotka i neftekhimiya* [Oil refining and petrochemistry], 2023, no.1, pp.3-9.
11. Antonov S.A., Pozdniakov V.V., Kuteeva S.G., Matveeva A.I., Pronchenkov I.A., Tyukilina P.M., Bartko R.V. *Vliyanie otbora distillytnykh fraktsii iz nafteno-aromaticheskoy nefti na kachestvo okislennykh dorozhnykh bitumov PG marok* [Influence of selection of distillate fractions from naphthene-aromatic oil on the quality of oxidized road bitumen PG grades]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2023, vol.30, no.2, pp.78-84.
12. *GOST R 71009-2023. Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Materialy vyazhushchiye neftyanye bitumnyye. Pravila vybora marok* [State Standard R 71009-2023. Public roads. Oil bitumen binders. Rules for selecting brands]. Moscow, Institute of Standardization Publ., 2023, 41 p.
13. *GOST R 71404-2024. Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Nezhestkiye dorozhnyye odezhdy. Pravila proyektirovaniya* [State Standard R 71404-2024. Public roads. Flexible road surfaces. Design rules. 2024]. Moscow, Institute of Standardization Publ., 2024, 146 p.