

**О. А. Панфилова, С. И. Вольфсон, С. Н. Анисимов,
А. В. Красильников, И. В. Рудницкий, Р. Р. Файзуллин**

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ И ИХ ВУЛКАНИЗАТОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ СТАТОРОВ ВИНТОВЫХ ЗАБОЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: вулканизат, винтовой забойный двигатель, эластомерная обкладка, подвулканизация.

Работа посвящена разработке рецептур и исследованию свойств резиновых смесей и их вулканизатов на основе бутадиен-нитрильных каучуков, предназначенных для эластомерной обкладки статоров винтовых забойных двигателей, широко используемых в системах нефтегазодобычи при бурении скважин. К данному изделию предъявляется комплекс жестких эксплуатационных требований: высокие значения прочности при растяжении, эластичности, сопротивления раздиру, износостойкости, теплостойкости, морозостойкости, а также устойчивости к воздействию буровых жидкостей и углеводородных сред. Одновременно с этим от резиновых смесей требуются особые технологические свойства, обусловленные спецификой изготовления обкладок методом заливки на нагретую внутреннюю металлическую поверхность статора. Ключевыми технологическими требованиями являются низкая вязкость по Муни и длительная устойчивость к преждевременной вулканизации, что позволяет избежать дефектов при формовании изделия большой длины. Обеспечение одновременного выполнения всех перечисленных эксплуатационных и технологических требований представляет собой сложную научно-техническую задачу. В работе исследовано влияние типа каучуковой основы композиций, включая отечественные бутадиен-нитрильные каучуки различных марок с разным содержанием нитрила акриловой кислоты и вязкостью по Муни, а также их комбинации. В составе композиций изучены вулканизирующие системы различного состава, а также различные наполнители и их комбинации (технический углерод различной активности, кремнеземный наполнитель). Показано, что оптимальный комплекс свойств достигается при использовании комбинации каучуков, ускорителей серной вулканизации, обеспечивающих продолжительный индукционный период, замедлителей преждевременной вулканизации, и наполнителей, положительно влияющих на износостойкость. Разработанные резиновые смеси демонстрируют низкую вязкость по Муни, высокую устойчивость к преждевременной вулканизации и хороший уровень деформационно-прочностных свойств, что соответствует требованиям, предъявляемым к материалам для эластомерных обкладок винтовых забойных двигателей. Для дальнейших исследований выбраны рецептуры с наилучшим уровнем свойств, которые будут изучены на устойчивость к абразивному износу, действию агрессивных сред и прочность крепления резины к металлу.

**O. A. Panfilova, S. I. Volfson, S. N. Anisimov,
A. V. Krasilnikov, I. V. Rudnitskiy, R. R. Fayzullin**

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF RUBBER BLENDS AND VULCANIZATES FOR PROTECTIVE COATINGS OF SCREW DOWNHOLE MOTOR

Keywords: vulcanizate, screw downhole motor, elastomeric coating, scorch.

This work is devoted to the development of formulations and the study of the properties of rubber compounds and their vulcanizates based on nitrile-butadiene rubbers intended for elastomeric coatings of screw downhole motor stators, which are widely used in oil and gas production systems for well drilling. A number of operational requirements are imposed on this product, including high tensile strength, tear resistance, wear resistance, heat resistance, elasticity, low-temperature resistance, as well as resistance to drilling fluids and hydrocarbon media. At the same time, special technological properties of rubber compounds are required due to the specific manufacturing method of the coating by pouring onto the heated inner metal surface of the stator. The key technological requirements are low Mooney viscosity and high scorch resistance, which makes it possible to avoid defects during the molding of long-length products. Achieving all these operational and technological requirements simultaneously represents a complex scientific and technical challenge. This study investigated the influence of the rubber base type, including domestic nitrile butadiene rubbers of various grades with different acrylonitrile content and viscosity, as well as their combinations. Various curing systems, types of fillers and their combinations were considered. It was shown that an optimal set of properties is achieved using a combination of rubbers, special accelerators providing a long induction period and fillers that positively affect wear resistance. The developed rubber compounds demonstrate acceptable viscosity, high scorch resistance, and a good level of tensile properties, meeting the requirements for elastomeric coating materials for screw downhole motors. Promising formulations have been selected for further research, which will be studied for resistance to abrasive wear, exposure to aggressive environments, and the strength of rubber-to-metal bonding.

Введение

В системах нефтегазодобычи маслобензостойкие эластомерные материалы применяются повсеместно, как в качестве изделий – диафрагм, уплотнений, мембран, пластин, шнуров, элементов пакеров, уплотнительных колец, манжет, так и в качестве покрытий

узлов и механизмов [1-6]. Одним из примеров использования эластомерных покрытий является изготовление статоров винтовых забойных двигателей (ВЗД), служащих для бурения скважин, работа которых без резинового слоя невозможна [1-10].

Конструкция винтового забойного двигателя включает винтовую пару: статор, представляющий собой стальной цилиндрический корпус, внутренняя

поверхность которого оклеена эластомерной обкладкой с зубчатой винтовой поверхностью, и стальной подвижный ротор, вращающийся под давлением подаваемой жидкости и зацепляющийся за винтовую поверхность оболочки в процессе вращения. Зубья в конструкции имеют циклоидальный профиль, что обеспечивает одновременный контакт всех зубьев и образование между ними замкнутых винтообразных каналов. Эластомерная обкладка разделяет полости камер двигателя, позволяя поддерживать высокий градиент давления бурового раствора и герметичность его транспортировки [9-12]. Конструкция ВЗД в поперечном сечении представлена на рисунке 1.

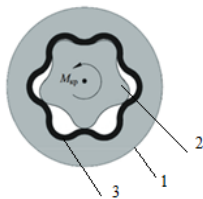


Рис. 1 - Конструкция винтового забойного двигателя: 1 – статор, 2 – ротор, 3 – эластомерная обкладка

Fig. 1 - Design of a downhole screw motor: 1 – stator, 2 – rotor, 3 – elastomer lining

К материалам эластомерных обкладок предъявляются очень жесткие требования по прочности, эластичности, износостойкости, теплостойкости (максимальная температура в скважине может достигать 120 °С), адгезионной прочности соединения «резина-металл», устойчивости к воздействию буровых жидкостей, углеводородных сред с низкой анилиновой точкой [1, 2, 4].

Особенности формирования эластомерного покрытия на внутренней поверхности статора требуют от резиновых смесей особых технологических свойств – длительной устойчивости к подвулканизации и низкой вязкости.

Обеспечение одновременного выполнения всех требований, предъявляемых к материалу эластомерных обкладок, обеспечивает высокую устойчивость к разрушению этого элемента винтового забойного двигателя и, соответственно, увеличение межремонтного ресурса [1-8]. К эластомерным материалам, используемым в качестве обкладок винтовых забойных двигателей, предъявляется целый ряд требований: время подвулканизации при 120 °С не менее 60 мин; вязкость по Муни, 100 °С, ML [4+1], не более 60 ед.; твердость по Шор А – 83-90 ед.; условная прочность при растяжении – не менее 16 МПа; относительное удлинение при разрыве – не менее 200 %; сопротивление раздиру – не менее 17 кгс/см; истираемость – не более 35 м³/ГДж; температура хрупкости не выше -30 °С; прочность крепления резины к металлу при отрыве (клей Хемосил 211) – не менее 16 Н/мм, эластичность по отскоку – не менее 16 %.

Помимо вышперечисленных требований, материалы для изготовления эластомерных обкладок должны обеспечивать минимальное изменение основных показателей (условной прочности при растяжении – не более 7 %, относительного удлинения при

разрыве – не более 15 %, массы – не более 5 %, объема – не более 7 %) в условиях контакта с нефтяной жидкостью СЖР-3 (или Дизель Экто) и горячей водой в течение 72 ч при температуре 95 °С.

До последних лет резиновые смеси для изготовления обкладок внутренней поверхности статора винтовых забойных двигателей преимущественно закупались за рубежом. В настоящее время, ввиду текущей экономической ситуации, актуальной задачей является разработка рецептурно-технологических параметров получения резиновых смесей для изготовления эластомерных обкладок винтовых забойных двигателей, удовлетворяющих высоким требованиям.

Длина винтовых забойных двигателей изделий достигает 3 метров. Для формирования эластомерной обкладки резиновая смесь накладывается на внутреннюю металлическую поверхность статора путем «заливания», при этом металлическая поверхность нагревается. Ввиду таких технологических особенностей изготовления обкладок для сырых резиновых смесей ключевым требованием является устойчивость к преждевременной вулканизации, оцениваемая по времени T₅, которое характеризуется подъемом вязкости по Муни на 5 единиц от минимальной при выдержке резиновой смеси в вискозиметре Муни при температуре 120 °С.

Цель работы

Разрабатываемые в рамках настоящей работы рецептуры резиновых смесей преимущественно на базе отечественного полимерного сырья позволят добиться наилучшего комплекса свойств эластомерных обкладок статора забойных двигателей, применяемых в системах нефтегазодобычи и, следовательно, увеличить срок их межремонтного ресурса [10-12].

Материалы и методы исследования

Объектами исследования явились резиновые смеси на основе бутадиен-нитрильных каучуков марок БНКС-28 АН, БНКС-40 АН, СКН 4045, СКН 3335 производства ОАО «Красноярский завод синтетического каучука» (ПАО «СИБУР»).

Резиновые смеси изготавливали в смесительной камере пластикордера Брабендер объемом 350 см³. Вулканизационные характеристики оценивали на реометре Gotech MD-3000А в соответствии с ГОСТ Р 54547-2011. Вязкость по Муни и устойчивость к преждевременной вулканизации определяли на вискозиметре Муни UGT7080 (ГОСТ Р 54552-2011). Деформационно-прочностные свойства исследовали на универсальной испытательной машине ТРМ-П 50 С1 в соответствии с ГОСТ 270-75.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работ оценивали влияние состава резиновых смесей на сопротивление смесей преждевременной вулканизации и основные физико-механические свойства вулканизатов. Рецептуры резиновых смесей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептуры резиновых смесей

Table 1 – Rubber Compound Formulations

Ингредиенты	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Каучук СКН 4045	-	-	-	-	100	80,0
Каучук СКН 3335	-	-	-	-	-	20,0
Каучук БНКС-40 АН	75,0	-	-	100	-	-
Каучук БНКС-28 АН	-	100	100	-	-	-
Каучук СКИ-3	25,0	-	-	-	-	-
Сера	1,0	1,0	-	-	-	-
Сульфенамид Ц	-	-	0,5	2,5	-	-
Сульфенамид М	-	-	-	-	3,0	3,0
Альтакс	0,5	0,5	-	-	-	-
Дитиодиморфолин	-	-	2,0	2,0	2,5	2,5
Тиурам Д	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0
Оксид цинка	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0
Стеарин	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Сантогард РVI	-	1,5	0,8	-	1,5	1,5
ТУ П 234	-	35,0	35,0	-	-	-
ТУ П 324	40,0	-	-	65	80,0	60,0
ТУ П 514	40,0	-	-	-	-	-
ТУ П 701	-	35,0	35,0	-	-	-
БС-120	-	-	-	15	-	20,0
Дибутилсебацнат	6,0	6,0	12,0	10	8,0	8,0
Ацетонанил Р	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Диафен IPPD	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Смола ИКС	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0
Органосилан Si69	-	-	-	15,0	-	1,5
Итого	194,5	184,5	203,8	209,0	217,0	218,5

В качестве каучуковой основы были взяты бутадиен-нитрильные каучуки разных марок, отличающиеся вязкостью, содержанием нитрила акриловой кислоты и способом синтеза. Представляло интерес оценить в составе композиций бутадиен-нитрильные каучуки марок СКН 4045 и СКН 3335 производства ОАО «Красноярский завод синтетического каучука» (ПАО «СИБУР»), полученные с использованием в качестве эмульгатора мыл жирных кислот растительного происхождения. Данные каучуки, ввиду пониженной вязкости, должны демонстрировать лучшие технологические свойства и более низкую вязкость по Муни конечных композиций. В случае резиновых смесей для изготовления эластомерных обкладок статора ВЗД вязкость по Муни резиновых смесей не должна превышать 60 единиц.

Поскольку от вулканизатов требуется не только устойчивость к нефтяным жидкостям, но и высокая износостойкость, смесь № 1 изготавливали на основе высоковязкого каучука БНКС-40 АН, для улучшения технологических свойств в него добавляли каучук СКИ-3, а также использовали комбинацию технического углерода активной и полуактивной марок [13, 14]. Согласно полученным результатам (таблица 2), смесь № 1 имеет очень высокую вязкость по Муни и низкую устойчивость к преждевременной вулканизации, а вулканизаты – высокую твердость.

Таблица 2 – Свойства резиновых смесей и вулканизатов

Table 2 – Properties of rubber compounds and vulcanizates

Показатели	Резиновая смесь					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Реометрия, 170 °С, 20 мин						
Smin, dN*m	3,6	2,3	1,4	2,5	1,8	2,5
Smax, dN*m	22,9	14,3	11,9	14,1	15,4	17,2
T10, мин	1,03	2,5	2,4	3,5	2,9	3,3
T90, мин	10,2	7,3	7,9	9,4	9,3	9,2
Вязкость по Муни, 100 °С, [1+4], усл. ед.	90	91	56	66	63	68
Время до начала подвулканизации при M _{мин} + 5 ед., T ₅ , 120 °С	13	33	40	54	> 60	58
Время до начала подвулканизации при M _{мин} + 35 ед., T ₃₅ , 120 °С	17	53	> 60	> 60	> 60	> 60
Условия вулканизации: 170 °С 20 минут						
Условная прочность при растяжении, МПа	12,4	20,0	16,7	19,5	17,0	17,8
Относительное удлинение при разрыве, %	180	430	460	420	340	410
Твердость, усл. ед. Шор А	81	68	63	66	80	77

Далее изготавливали смесь № 2 на основе каучука БНКС-28 АН с использованием в качестве наполнителя комбинации технического углерода марок П 234 и П 701 (для понижения вязкости смеси), для увеличения устойчивости к подвулканизации ввели замедлитель сантогард РVI. Время до начала подвулканизации увеличилось до 33 минут, однако, не достигло требуемого значения (60 минут), при этом вязкость по Муни осталась высокой (таблица 2).

Для увеличения времени устойчивости к подвулканизации состав вулканизирующей системы скорректировали, вместо серы в качестве вулканизирующего агента использовали донор серы – дитиодиморфолин, ускоритель сульфенамид Ц, обеспечивающий продолжительный индукционный период смесей, а также комбинацию технического углерода активной и полуактивной марок для баланса прочностных свойств и вязкости по Муни [14-16]. Указанные рецептурные приемы позволили значительно снизить вязкость по Муни резиновой смеси № 3, повысить время устойчивости к подвулканизации до 40 минут, обеспечить хороший уровень деформационно-прочностных свойств.

Известно, что для обеспечения продолжительного индукционного периода и времени подвулканизации в качестве ускорителя серной вулканизации можно использовать сульфенамид М [14-17]. Введение в состав резиновой смеси № 4 сульфенамида М,

а также увеличенного количества замедлителя преждевременной вулканизации Сантогард PVI обеспечило повышение времени до начала подвулканизации T_5 до 54 мин, а применение комбинации технического углерода П 324 и кремнезема наполнителя БС-120 – высокий уровень деформационно-прочностных свойств, а пластификатора дибутилсебацат и инден-кумароновой смолы (ИКС) – требуемую вязкость по Муни [14].

В продуктом портфеле ПАО «Сибур» имеются бутадиен-нитрильные каучуки марок СКН, полученные по экологически чистой технологии с использованием в качестве эмульгатора мыл жирных кислот растительного происхождения. Так, бутадиен-нитрильный каучук марки СКН 4045, помимо высокой маслобензостойкости, обладает низкой вязкостью, что может обеспечивать резиновым смесям на его основе повышенную текучесть. Резиновую смесь № 5 изготавливали на основе каучука СКН 4045, и, имея запас по вязкости, ввели 80 мас. ч. активного технического углерода П 324. Из данных таблицы 2 видно, что удалось добиться оптимального значения вязкости по Муни (63 ед.), времени сопротивления преждевременной вулканизации почти 60 мин и высоких деформационно-прочностных свойств, однако твердость оказалась немного ниже требуемой.

В составе резиновой смеси № 6 использовали в качестве наполнителя кремнеземный наполнитель БС-120, положительно влияющий на устойчивость вулканизатов к абразивному износу, а для предотвращения ожидаемого при этом роста вязкости в качестве основы использовали комбинацию бутадиен-нитрильного каучука СКН 4045 с обладающим более низкой вязкостью каучуком СКН 3335 (соотношение СКН 4045: СКН 3335 составило 80:20). Указанные рецептурные приемы в композициях № 5 и № 6 обеспечили получение резиновой смеси с необходимой вязкостью по Муни, сопротивлением преждевременной вулканизации более 60 мин, а также высоким уровнем деформационно-прочностных свойств.

Заключение

В настоящей работе показано, что для удовлетворения некоторых требований, предъявляемых к материалу эластомерных обкладок винтовых забойных двигателей, необходимо использовать комбинацию бутадиен-нитрильных каучуков; также вулканизирующую систему, содержащую ускорители и замедлители, обеспечивающие устойчивость к преждевременной вулканизации; наполнители и пластификаторы, обеспечивающие необходимую вязкость по Муни резиновой смеси. Для дальнейших исследований выбраны резиновые смеси № 5 и № 6, работы будут посвящены оценке устойчивости резины к абразивному износу, действию агрессивных сред и прочности крепления резины к металлу.

Литература

1. И. И. Мухаметханов, А. А. Шаяхметов, А. В. Красильников, С. Н. Анисимов, О. А. Панфилова, Студент. Наука. Общество: сборник научных трудов. (Чуваш. гос. ун-т

- им. И.Н. Ульянова. Чебоксары, 14 ноября 2023). Чебоксары, 2023. С. 165-166.
2. H. Patel, S. Salehi, R. Ahmed, C. Teodoriu, J. Pet. Sci. Eng., **179**, Article 1046 (2019). DOI: 10.1016/j.petro.2019.05.019
3. С. С. Чернуха, Наука и техника в газовой промышленности, **2**, 36-42 (2020).
4. Пат. RU 104 629 U1: F01C 1/107 (2006.01), E21B 4/02 (2006.01).
5. В. В. Мельников, А. В. Епихин, Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии в Евразии. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, (Томск, Изд-во ТПУ, 2015). Томск, 2015. С. 615-619.
6. А. А. Миронова, В. Н. Аптуков, П. С. Потураев, О. В. Басова, Н. А. Медведева, В. В. Булатов. Деформация и разрушение материалов, **12**, (2021). DOI: 10.31044/1814-4632-2021-12-18-22.
7. S. Tavosi, M. Alimardani, M. H. R. Ghoreishy, M. Tavakol, Eng. Fail. Anal., **159**, Article 108072 (2024). DOI: 10.1016/j.engfailanal.2024.108072
8. C. Shi, X. Wan, J. Deng, X. Zhu, J. Test. Eval., **50**, 4, 2209-2226 (2022).
9. H. Wang, S. Wang, X. Lv, Mechanics, **22**, 4, 308-312 (2016). DOI: 10.5755/j01.mech.22.4.16162.
10. V. Ulanu, M. Badicioiu, M. Caltaru, Materiale Plastice, **52**, 4, 494-499 (2015).
11. Whittaker L. V., Doctoral dissertation, University of Hull, England, 2003.
12. И. Б. Кучкоров, Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина. (Томск, 3-7 апреля 2017 г., Изд-во ТПУ). Томск, 2017. С. 503-504.
13. Пат. RU 2669640 C1 (2018).
14. В. Ф. Каблов, В. И. Аксенов, Промышленное производство и использование эластомеров, **3**, 24-34 (2018). DOI: 10.24411/2071-8268-2018-10305/
15. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозов, *Большой справочник резинщика в 2 ч. Ч. 1: Каучуки и инердиенты*. М.: Техинформ, 2012, 641 с.
16. Н.А. Охотина, А.Р. Курбангалеева, О.А. Панфилова, *Сырье и материалы для резиновой промышленности: учеб. пособие*. Казань: КНИТУ, 2015, 112 с.
17. Ю.О. Аверко-Антонович, Р.Я. Омельченко, Н.А. Охотина, Ю.Р. Эбич, П. А. Кирпичников, *Технология резиновых изделий*. Л.: Химия, 1991, 352 с.

References

1. I. I. Mukhametkhanov, A. A. Shayakhmetov, A. V. Krasilnikov, S. N. Anisimov, O. A. Panfilova, Student. Science. Society: Collection of Scientific Papers. (I. N. Ulyanov Chuvash State University. Cheboksary, November 14, 2023). Cheboksary, 2023. pp. 165–166.
2. H. Patel, S. Salehi, R. Ahmed, C. Teodoriu, J. Pet. Sci. Eng., **179**, Article 1046 (2019). DOI: 10.1016/j.petro.2019.05.019
3. S. S. Chernukha, Science and Technology in the Gas Industry, **2**, 36–42 (2020).
4. Patent RU 104 629 U1: F01C 1/107 (2006.01), E21B 4/02 (2006.01).
5. V. V. Melnikov, A. V. Epikhin, Contemporary Problems of Hydrogeology, Engineering Geology, and Hydrogeoecology in Eurasia. Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation, (Tomsk, TPU Press, 2015). Tomsk, 2015. pp. 615–619.
6. A. A. Mironova, V. N. Aptukov, P. S. Poturaev, O. V. Basova, N. A. Medvedeva, V. V. Bulatov. Deformation and Failure of Materials, **12**, (2021). DOI: 10.31044/1814-4632-2021-12-18-22.

7. S. Tavosi, M. Alimardani, M. H. R. Ghoreishy, M. Tavakol, *Eng. Fail. Anal.*, **159**, Article 108072 (2024). DOI: 10.1016/j.engfailanal.2024.108072
8. C. Shi, X. Wan, J. Deng, X. Zhu, *J. Test. Eval.*, **50**, 4, 2209–2226 (2022).
9. H. Wang, S. Wang, X. Lv, *Mechanics*, **22**, 4, 308–312 (2016). DOI: 10.5755/j01.mech.22.4.16162.
10. V. Ulmanu, M. Badicioiu, M. Caltaru, *Materiale Plastica*, **52**, 4, 494–499 (2015).
11. Whittaker L. V., Doctoral dissertation, University of Hull, England, 2003.
12. I. B. Kuchkorov, Problems of Geology and Subsurface Development: Proceedings of the 21st International Symposium named after Academician M. A. Usov for students and young scientists, dedicated to the 130th anniversary of the birth of Professor M. I. Kuchin. (Tomsk, April 3–7, 2017, TPU Publishing House). Tomsk, 2017. pp. 503–504.
13. Patent RU 2669640 C1 (2018).
14. V. F. Kablov, V. I. Aksenov, *Industrial Production and Use of Elastomers*, **3**, 24–34 (2018). DOI: 10.24411/2071–8268–2018–10305/
15. S. V. Reznichenko, Yu. L. Morozov, *Comprehensive Rubber Technician's Handbook in 2 Volumes. Vol. 1: Rubbers and Ingredients*. Moscow: Tekhinform, 2012, 641 pp.
16. N.A. Okhotina, A.R. Kurbangaleeva, O.A. Panfilova, *Raw Materials and Supplies for the Rubber Industry: Textbook*. Kazan: KNITU, 2015, 112 pp.
17. Yu.O. Averkо-Antonovich, R.Ya. Omelchenko, N.A. Okhotina, Yu.R. Ebich, P.A. Kirpichnikov, *Rubber Product Technology*. L.: Khimiya, 1991, 352 pp.

© **О. А. Панфилова** – канд. техн. наук, доцент кафедры Химии и технологии переработки эластомеров (ХТПЭ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, PanfilovaOA@corp.knrту.ru; **С. И. Вольфсон** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ХТПЭ, КНИТУ, svolfson@kstu.ru; **С. Н. Анисимов** – аспирант КНИТУ; руководитель отдела развития ООО «Центр РТИ», завод «Казанская резина», Казань, Россия, sales_manager@centerrti.ru; **А. В. Красильников** – руководитель технологического отдела ООО «Центр РТИ», завод «Казанская резина», sell@centerrti.ru; **И. В. Рудницкий** – магистрант кафедры ХТПЭ, КНИТУ, RudnitskiyIV@corp.knrту.ru; **Р. Р. Файзуллин** – студент кафедры ХТПЭ, КНИТУ, molodoy-1110@yandex.ru.

© **О. А. Panfilova** – PhD Technical Sci.), Associate Professor of Chemistry and Processing Technology of Elastomers (CPTE) Department, Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, PanfilovaOA@corp.knrту.ru; **S. I. Volfson** – Doctor of Science (Technical Sci.), Professor, Head of the CPTE Department, KNRTU, svolfson@kstu.ru; **S. N. Anisimov** – PhD-Student KNRTU, Head of the Development Department, Center RTI LLC, Kazanskaya Rezina Plant, Kazan, Russia, sales_manager@centerrti.ru; **A. V. Krasilnikov** – Process Development Manager, Center RTI LLC, Kazanskaya Rezina Plant, sell@centerrti.ru; **I. V. Rudnitskiy** – Master-student of the CPTE department, KNRTU, RudnitskiyIV@corp.knrту.ru; **R. R. Fayzullin** – Student of the CPTE department, KNRTU, molodoy-1110@yandex.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 06.04.26.

Дата принятия рукописи в печать – 23.04.26.