



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 678

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.032



ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОВОГО И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

Афанасий Алексеевич Дьяконов¹, Андрей Петрович Васильев²,
Айталиа Алексеевна Охлопкова³, Надежда Николаевна Лазарева⁴,
Александр Михайлович Спиридонов⁵, Анатолий Константинович Кычкин⁶,
Алексей Геннадьевич Туисов⁷, Павел Васильевич Винокуров⁸

^{1, 2, 3, 4, 5, 8} Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

¹ afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

² gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

³ okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

⁴ lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

⁵ spalmik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6520-5785>

⁸ pv.vinokurov@s-vfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2004-6631>

^{1, 6} Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Россия

⁶ kyckinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

⁷ Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Россия

⁷ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5889-000>

Аннотация. Статья содержит результаты исследования физико-механических, температурных свойств и агрессивности вулканизатов с различным соотношением нитрильного и бутадиенового каучуков в смеси. Изучение таких смесей позволит создавать материалы с оптимальными характеристиками агрессивности и морозостойкости для использования в различных климатических условиях, где температура окружающей среды может опускаться ниже минус 50 °С. По результатам исследования установлено, что максимальными упруго-прочностными свойствами обладают резины на основе бутадиенового каучука совместно с нитрильным. Также введение бутадиенового каучука в резиновую смесь приводит к снижению условного напряжения, твердости, плотности и стойкости к воздействию углеводородных сред, но при этом повышается износостойкость. Результаты испытания после термического старения показали, что у вулканизатов на основе комбинации каучуков и отдельно бутадиенового каучука снижаются условная прочность и относительное удлинение, а также отмечается повышение условного напряжения и твердости. Температурные исследования методами дифференциальной сканирующей калориметрии и термомеханического анализа показали, что температура стеклования и сегментальная подвижность образцов у эластомеров на основе совмещенных каучуков имеют два значения, характерные для нитрильного и бутадиенового каучуков. Также отмечается смещение температурных показателей нитрильной части в сторону низких температур, а у бутадиеновых каучуков – в сторону высоких температур. При исследовании методом электронной микроскопии в объеме эластомеров не было обнаружено резких межфазных переходов между каучуками. Поверхность эластомеров после испытания на абразивное истирание с повышением износостойкости переходит от «ямочного» вида к виду «бороздок».

Ключевые слова: бутадиен-нитрильный каучук, бутадиеновый каучук, резиновая смесь, температура стеклования, физико-механические свойства, микроструктура, агрессивность, термическое старение.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект №FSRG-2023-0026).

Для цитирования: Исследование свойств эластомеров в зависимости от содержания бутадиенового и нитрильного каучуков в резиновой смеси / А. А. Дьяконов [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 213–221. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.032, EDN: <https://elibrary.ru/VQWGUE>.

© Дьяконов А. А., Васильев А. П., Охлопкова А. А., Лазарева Н. Н., Спиридонов А. М., Кычкин А. К., Туисов А. Г., Винокуров П. В., 2024

STUDY OF ELASTOMER PROPERTIES DEPENDING ON CONTENT OF BUTADIENE AND NITRILE RUBBERS IN RUBBER MIXTURE

Afanasii A. Dyakonov ¹, Andrey P. Vasilev ², Aitalina A. Okhlopkova ³,
Nadezhda N. Lazareva ⁴, Alexander M. Spiridonov ⁵, Anatolii K. Kychkin ⁶,
Aleksei G. Tuisov ⁷, Pavel V. Vinokurov ⁸

^{1, 2, 3, 4, 5, 8} M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

¹ afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

² gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

³ okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

⁴ lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

⁵ spalmik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6520-5785>

⁸ pv.vinokurov@s-vfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2004-6631>

^{1, 6} V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁶ kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

⁷ The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁷ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5889-000>

Abstract. *The paper presents the results of the study of aggressive resistance, mechanical and temperature properties of elastomers depending on the ratio of nitrile and butadiene rubbers content in the rubber mixture. The study of the properties of rubber mixtures based on the combination of these rubbers will make it possible to obtain products with optimal aggressive and frost resistance properties for use in climatic conditions where the ambient temperature can fall below minus 50°C. According to the results of the research of the mechanical properties, it is established that the rubber based on butadiene rubber together with nitrile rubber has the maximum index of stress-strain properties. Also introduction of butadiene rubber into rubber mixture leads to reduction of conditional stress, hardness, density and resistance to hydrocarbon media, but increases wear resistance. The results after the thermal aging test showed that vulcanizates based on the combination of rubber and severally butadiene rubber have a significant decrease in the conditional strength and relative elongation, and an increase in the conditional stress and hardness are also noted. Temperature studies by differential scanning calorimetry and thermomechanical analysis showed that the glass transition temperature and segmental mobility of the samples of elastomers based on combined rubbers have two values characteristic of nitrile and butadiene rubber. There is also a shift of the temperature indices of the nitrile part towards low temperatures, and of the butadiene rubbers towards high temperatures. The study by electron microscopy in the volume of elastomers did not find sharp interphase transitions between rubbers. The surface of elastomers after abrasive abrasion test with increasing wear resistance goes from dimpled to furrowed appearance.*

Keywords: *nitrile butadiene rubber, butadiene rubber, rubber mixture, glass transition temperature, mechanical properties, microstructure, aggressive resistance, thermal aging.*

Acknowledgements: *This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project #FSRG-2023-0026).*

For citation: Dyakonov, A.A., Vasilev, A.P., Okhlopkova, A.A., Lazareva, N.N., Spiridonov, A.M., Kychkin, A.K., Tuisov, A.G., Vinokurov, P.V. (2024). Study of elastomer properties depending on the content of butadiene and nitrile rubbers in the rubber mixture. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 213-221. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.032, EDN: <https://elibrary.ru/VQWGUE>.

ВВЕДЕНИЕ

На обширных территориях России в холодный период температура окружающей среды опускается до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Для надежной работы техники требуются материалы, способные выдерживать данные условия эксплуатации. Наиболее слабым звеном при применении техники в условиях низких температур являются резинотехнические из-

делия, которые, замерзая, теряют эластические свойства и могут разрушаться под воздействием внешних сил. Морозостойкие резиновые смеси обычно изготавливаются на основе изопреновых, бутадиеновых, силиконовых, фторсилоксановых, бутадиенстирольных и бутадиен-нитрильных каучуков с низким содержанием нитрилакриловой кислоты. Однако, учитывая широкое применение

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОВОГО И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

резинотехнических изделий в контакте с углеводородными средами (узлы трения, уплотнители), актуальной задачей является разработка эластомеров, сочетающих масло- и морозостойкость.

Создание резиновых смесей из принципиально разных типов каучуков – один из перспективных подходов к получению эластомеров с улучшенными эксплуатационными свойствами. Изучение таких смесей, например, гидрированных бутадиен-нитрильных [1], изопренового с бутадиен-нитрильным [2], пропиленоксидного с эпихлоргидриновым [3] и других комбинаций, активно ведётся. Актуальность этого направления обусловлена тем, что надежность техники, используемой при низких температурах, во многом зависит от качества применяемых резинотехнических изделий.

Целью работы является изучение свойств вулканизатов в зависимости от содержания бутадиен-нитрильного и бутадиенового каучуков в резиновой смеси.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является эластомеры на основе комбинации каучуков СКД-В и БНКС-18 АМН с соотношением 100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80; 0:100. Состав резиновой смеси включает следующие ингредиенты:

- бутадиеновый каучук марки СКД-В

(Сибур, Россия), характеризующийся высокой морозостойкостью;

- бутадиен-нитрильный каучук БНКС-18 АМН (Сибур, Россия), характеризующийся хорошей стойкостью к воздействию углеводородным средам и удовлетворительной морозостойкостью;

- стеариновая кислота марки Т-32 (Центр ХимСервис, Россия) является одноосновой карбоновой кислотой алифатического ряда с молекулярной массой 248,48 г/моль, плотностью 0,94 г/мл;

- технический углерод марки N550 (ЭКО-ПОЛЬЗА, Россия) является среднеактивным усиливающим наполнителем с удельной поверхностью 42 м²/г, размерами частиц 39–55 нм;

- оксид цинка марки БЦ0М (Эмпилс-цинк, Россия) является активатором вулканизации в резиновых смесях. Массовая доля соединений Zn составляет 99,7 %;

- ускоритель тиазольного типа марки Сульфенамид Ц (РусХимСеть, Россия) с замедленным действием в начальной стадии вулканизации;

- сера (ЭкоТОН, Россия) применяется в качестве вулканизирующего агента резиновой смеси.

Рецептуры резиновых смесей и время загрузки ингредиентов в резиносмеситель приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептуры резиновых смесей на основе каучуков БНКС-18 АМН, СКД-В и их комбинаций

Table 1 – Formulations of rubber compounds based on rubber NBR, BR and their combinations

№	Ингредиенты	Масс.ч.						Время, мин
		1	2	3	4	5	6	
1	БНКС-18 АМН	100,0	80,0	60,0	40,0	20,0	–	0
2	СКД-В	–	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	0
3	Стеариновая кислота	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0
4	Техуглерод N550	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	2
5	Оксид цинка	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	5
6	Сульфенамид Ц	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	10
7	Сера	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	12
	Итого:	160,4	160,4	160,4	160,4	160,4	160,4	20

Изготовление резиновых смесей производилось в смесителе закрытого типа PL-2200 (Brabender, Германия) при начальной температуре 40 °С, скорости вращения роторов 25 об/мин, общая продолжительность цикла смешения ингредиентов резиновой смеси составляла 20 мин. После смешения резиновая смесь подвергалась вальцеванию. Вулканизация проводилась в термогидравлическом прессе ПКМВ-100 (Импульс, Россия) при давлении 10 МПа и температуре 155 °С в течение 20 минут.

Условная прочность и относительное удлинение при разрыве определялись на испытательной машине Autograph-AGS J (Shimadzu, Япония) в соответствии со стандартом ISO 37-2020. Твердость по Шор А измерялась по ISO 7619-1-2009. Плотность образцов определялась гидростатическим методом по ISO 2781-2022. Объемное истирание вулканизатов определяли на машине трения МИ-2 (Метротекс, Россия) с использованием поверхности зернистостью N150, в соответствии с ISO ГОСТ 23509-79. Остаточное деформационное сжатие (ОДС) на 20 % и

стойкость к термическому старению (72 ч при 100 °С в сушильном шкафу) определялось по ГОСТ 9.029-74. Степень набухания в гидравлическом масле АМГ-10 при комнатной температуре в течение 72 ч определялась по ГОСТ 9.030-74.

Температуру стеклования определяли с помощью дифференциального сканирующего калориметра DSC 204 F1 Phoenix (NETZSCH, Германия). Температурные фазовые переходы исследовали на термомеханическом анализаторе ТМА-60/60Н (Shimadzu, Япония) при нагрузке индентора 50 Н и скорости нагревания 5°С/мин в диапазоне температур от

-100 °С до +100 °С. Надмолекулярная структура образцов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе JSM-7800F (Jeol, Япония) в режиме вторичных электронов. Для исследования структуры в объеме образцы подвергались криогенному раскалыванию в жидком азоте.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Физико-механические свойства, термостойкость, ОДС и агрессивностойкость вулканизатов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства эластомеров на основе каучуков БНКС-18 АМН, СКД-В и их комбинаций

Table 2 – Properties of elastomers based on rubber NBR, BR and their combinations

Свойства	Рецептуры					
	1	2	3	4	5	6
Свойства вулканизатов						
ε _p , %	358	383	422	412	353	381
f _p , МПа	15,2	15,4	16,8	13,9	10,4	10,8
f _{100%} , МПа	4,2	4,1	4,1	3,8	3,6	3,1
Н, Шор А, усл. ед.	73	72	71	70	69	66
ρ, г/см ³	1,134	1,130	1,125	1,116	1,109	1,105
ΔV, см ³	0,078	0,055	0,042	0,038	0,033	0,022
ΔQ, %	11,7	23,9	56,2	79,7	97,0	108,6
Свойства вулканизатов после термической обработки (100°Сx72ч)						
ε _p , %	199	171	210	208	160	145
f _p , МПа	14,9	12,0	12,7	11,5	8,1	5,3
f _{100%} , МПа	8,3	7,7	6,9	5,8	5,5	4,1
Н, Шор А, усл. ед.	76	76	74	73	72	71
ОДС, %	71,5	61,9	59,5	59,7	63,4	73,8

ε_p, % – относительное удлинение при разрыве; f_p, МПа – условная прочность при разрыве; f_{100%}, МПа – условное напряжение при удлинении на 100%; Н, Шор А – твердость по Шору А; ρ, г/см³ – плотность; ΔV, см³ – объемное истирание; ΔQ, % – степень набухания в среде масла АМГ-10; ОДС, % – остаточная деформация сжатия

Из таблицы 2 видно, что относительное удлинение при разрыве вулканизатов на основе бутадиенового и нитрильного каучуков приблизительно одинаковое. Увеличение содержания бутадиенового каучука до 60 масс. ч. приводит к росту относительного удлинения при разрыве, однако дальнейшее увеличение этой доли снижает показатель. Наибольшую прочность на разрыв продемонстрировал вулканизат с соотношением нитрильного и бутадиенового каучуков 60:40 масс. ч. Дальнейшее увеличение содержания бутадиенового каучука снижает прочность. Наибольшие значения условного напряжения и твердости зафиксированы у вулканизата на основе чистого нитрильного каучука, наименьшие – у вулканизата на основе исходного бутадиенового каучука. Введение и дальнейшее увеличение количества бутадиенового каучука в резиновой смеси снижает эти показатели.

Относительное удлинение эластомеров уменьшается примерно в 2 раза после испытания на термическое старение. Условная

прочность у вулканизата на основе нитрильного каучука снижается на 2 %, а у бутадиенового вулканизатана – на 52 %. Также из полученных результатов видно, что введение каучука СКД-В в резиновую смесь уменьшает условную прочность у вулканизатов на основе комбинации каучуков. Условное напряжение и твердость эластомеров повышаются, предположительно из-за снижения подвижности макромолекул каучуков. Уменьшение удлинения в вулканизате на основе нитрильного каучука обусловлено довулканизацией, приводящей к образованию дополнительных серных сшивков между макромолекулами [4]. Наиболее существенное снижение упруго-прочностных характеристик наблюдается у вулканизата на основе бутадиенового каучука вследствие термоокислительных процессов при нагревании [5].

Повышение содержания бутадиенового каучука в резиновой смеси приводит к снижению плотности вулканизатов. Это объясняется более низкой плотностью бутадиенового каучука по сравнению с бутадиен-нитрильным эластомером.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОвого И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

При испытании образцов на агрессивностью в гидравлическом масле АМГ-10 наблюдается набухание, которое увеличивается с повышением содержания бутадиенового каучука в резиновой смеси. Из работы известно [6], что бутадиен-нитрильные каучуки применяются для создания резинотехнических изделий с повышенной стойкостью к воздействию углеводородных сред, бутадиеновые же каучуки не обладают подобной особенностью [7].

Наилучшими показателями по результатам исследования ОДС эластомеров обладают образцы на основе комбинации каучуков БНКС-18:СКД-В (60:40) и (40:60) – 59,5 и 59,7 % соответственно. Предположительно улучшение ОДС происходит из-за термодинамической несовместимости каучуков,

вследствие чего образуется армирующий эффект при их смешении.

Абразивное истирание вулканизата на основе бутадиенового каучука в 3,5 раза меньше по сравнению с бутадиен-нитрильным эластомером. По этой причине введение и дальнейшее увеличение содержания каучука СКД-В в резиновой смеси повышает стойкость к абразивному истиранию. Известно, что бутадиеновые каучуки широко применяются в шинной промышленности благодаря высокой износостойкости [8].

В табл. 3 приведены средние значения температуры стеклования вулканизатов, полученные методом дифференциальной сканирующей калориметрии.

Таблица 3 – Средняя температура стеклования эластомеров на основе каучуков БНКС-18 АМН, СКД-В и их комбинаций

Table 3 – Glass transition temperature of elastomers based on rubber NBR, BR and their combinations

Свойство	Образцы					
	1	2	3	4	5	6
T _{1стек} , °С	-49,7	-52,3	-51,6	-50,6	-50,3	-
T _{2стек} , °С	-	-86,1	-87,6	-87,9	-87,6	-88,3

Эластомер на основе бутадиен-нитрильного каучука, содержащий 17–20 % нитрила акриловой кислоты, обладает температурой стеклования (T_{стекл}) минус 49,7 °С, а на основе бутадиенового каучука – минус 88,3 °С. Эластомеры на основе комбинации каучуков характеризуются двумя пиками температур стеклования, находящимися в температурной области каждого исходного каучука. Образование двух температур стеклования, предположительно, связано с

ихтермодинамической несовместимостью [9]. Это согласуется с результатами других авторов. В работе Мухина В.В. [10] установлено, что резиновые смеси на основе несовместимых каучуков характеризуются двумя температурами стеклования.

Результаты исследования фазовых переходов в температурном диапазоне от минус 100 °С до плюс 100 °С методом термомеханического анализа приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Фазовые переходы эластомеров на основе каучуков БНКС-18 АМН, СКД-В и их комбинаций в температурном диапазоне от минус 100 °С до плюс 100 °С

Table 4 – Phase transitions of elastomers based on rubber NBR, BR and their combinations in the temperature range from minus 100 °С to plus 100 °С

№	Образец	Первый переход, °С	Второй переход, °С
1	БНКС-18 АМН	–	-50,2
2	БНКС-18 80 АМН : СКД-В 20	-81,3	-50,8
3	БНКС-18 60 АМН : СКД-В 40	-81,2	-51,1
4	БНКС-18 40 АМН : СКД-В 60	-83,1	-51,2
5	БНКС-18 20 АМН : СКД-В 80	-85,4	-52,6
6	СКД-В	-85,9	–

При давлении индентора на эластомерные образцы с усилием 50 Н наблюдаются изменения фазовых переходов при нагревании образцов, что свидетельствует о начале сегментальной подвижности макромолекул каучука. У вулканизата на основе одного каучука наблюдается единственный переход, а у образцов на основе комбинации каучуков –

два перехода. Таблица 4 показывает, что наименьшая температура начала сегментальной подвижности (-85,9 °С) наблюдается у образца на основе бутадиенового каучука. Добавление и увеличение доли бутадиен-нитрильного каучука в смеси приводит к постепенному повышению температуры сегментальной подвижности бутадиеновой эласто-

мерной составляющей. Также наблюдается обратный процесс с нитрильной эластомерной частью в сторону более низких температур. В работе [11] было показано, что резины, изготовленные на основе комбинации различных каучуков, демонстрируют два температурных перехода, каждый из которых соответствует одному из используемых типов каучука.

Предположительно, температурные показатели фазовых переходов и стеклования вулканизатов на основе комбинации каучуков смещаются по причине компенсаторных свойств. Температурные показатели бутадиеновой части эластомера смещаются в сто-

рону высоких температур. Более высокая температура начала подвижности макромолекул бутадиен-нитрильного каучука смещает температуру стеклования и фазового перехода бутадиеновой части в область более высоких температур. Напротив, более низкая температура начала подвижности макромолекул бутадиенового каучука обуславливает раннюю сегментальную подвижность нитрильной части эластомера, что смещает температуру стеклования в сторону низких температур.

На рис. 1 представлены микрофотографии надмолекулярной структуры низкотемпературных сколов эластомеров.

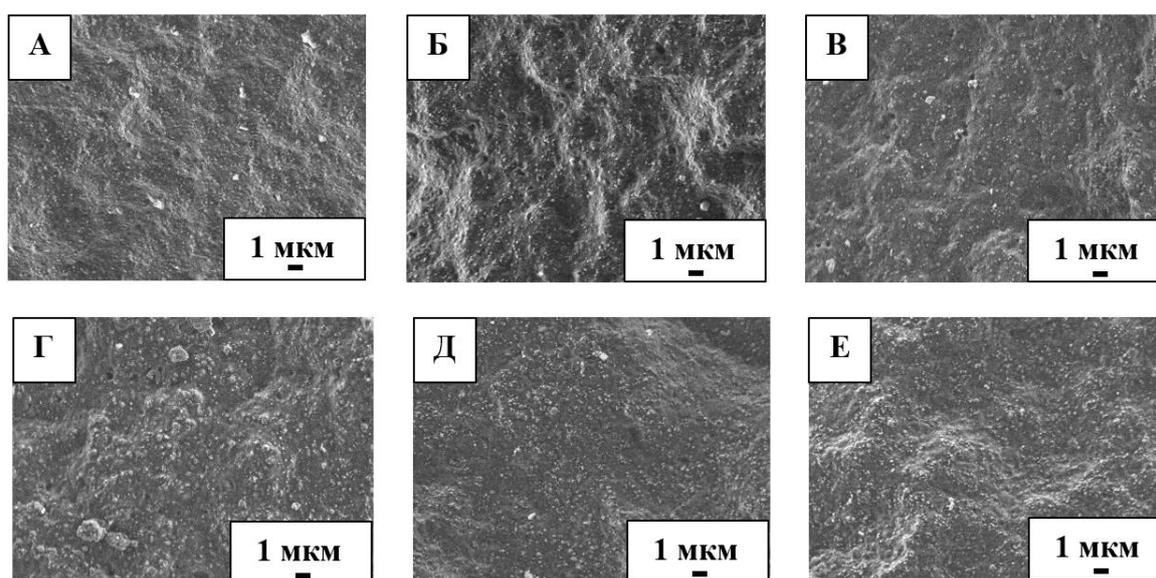


Рисунок 1 – Надмолекулярная структура вулканизатов: а) БНКС-18 АМН; б) СКД-В 20:БНКС-18 АМН 80; в) СКД-В 40:БНКС-18 АМН 60; г) СКД-В 60:БНКС-18 АМН 40; д) СКД-В 80:БНКС-18 АМН 20; е) СКД-В

Figure 1 – The supramolecular structure of elastomers: a) NBR; b) BR 20:NBR 80; c) BR 40:NBR 60; d) BR 60:NBR 40; e) BR 80:NBR 20; f) BR

При исследовании микроструктуры образцов не выявлено резких межфазных границ между нитрильным и бутадиеновым каучуками, что указывает на их достаточно хорошую совместимость. Поверхность образцов с преобладанием в составе бутадиен-нитрильного каучука характеризуется четко выраженным рельефом структуры (рис. 1, а, б, в). На рис. 1, г отмечается образование агломератов технического углерода, которое приводит к снижению условной прочности при разрыве, что подтверждается результатами испытаний. На микроструктуре рис. 1, д, е отмечается гладкая поверхность, которая имеет равномерное распределение технического углерода.

На рисунке 2 приведены микрофотографии поверхности после трения вулканизатов.

На микроснимках поверхности трения

эластомера на основе нитрильного каучука (рис. 2, а) образуются выемки со средней длиной от 80 до 150 мкм. Из микрофотографий видно, что с увеличением содержания бутадиенового каучука наблюдается изменение поверхности образцов после испытания на абразивостойкость (рис. 2, б–д). Структура эластомера на основе исходного бутадиенового каучука имеет вид направленных бороздок (рис. 2, е). Предположительно, на износостойкость оказывает влияние способность эластомеров к передеформации под воздействием внешних сил, которое во многом определяется условным напряжением. Таким образом, перераспределение нагрузки приводит к более равномерному контакту с абразивной поверхностью и отрыву более мелких частиц, вследствие чего происходит повышение износостойкости.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОвого И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

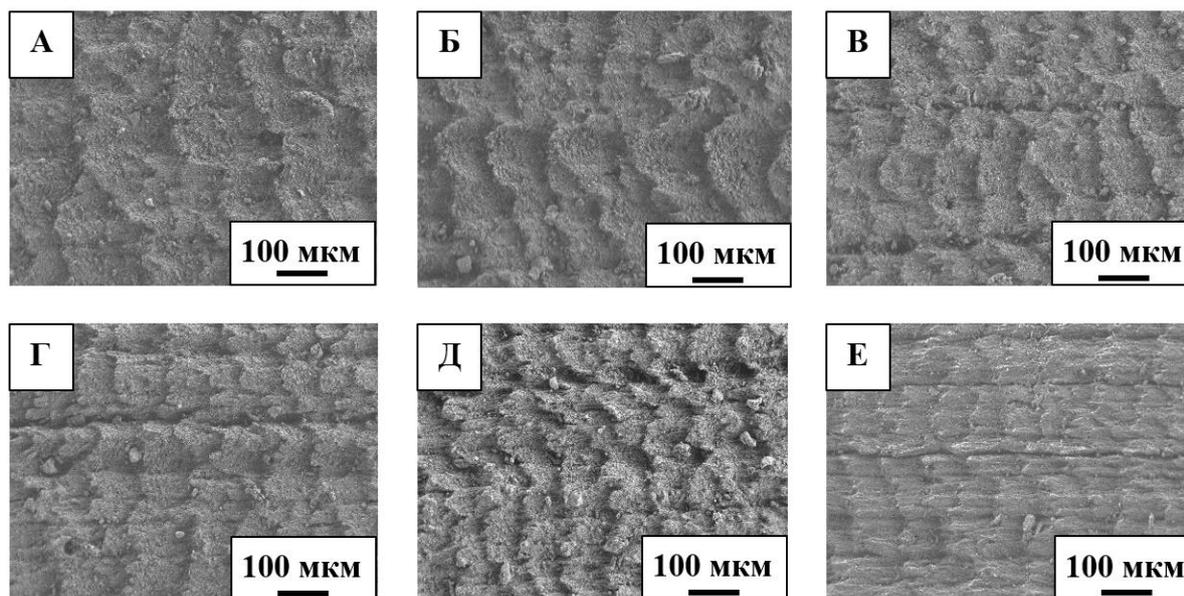


Рисунок 2 – Микрофотографии поверхности эластомеров после испытания на абразивостойкость:

а) БНКС-18 АМН б) СКД-В 20:БНКС-18 АМН 80; в) СКД-В 40:БНКС-18 АМН 60;

г) СКД-В 60:БНКС-18 АМН 40; д) СКД-В 80:БНКС-18 АМН 20; е) СКД-В

Figure 2 – Microphotographs of elastomer surface after abrasion resistance testing: а) NBR; б) BR 20:NBR 80; в) BR 40:NBR60; д) BR 60:NBR 40; е) BR 80:NBR 20; ф) BR

ВЫВОДЫ

Исследование свойств вулканизатов в зависимости от соотношения бутадиенового и нитрильного каучуков в резиновой смеси показало, что:

- наилучшими упруго-прочностными свойствами обладает эластомер с соотношением 60 масс.ч. нитрильного к 40 масс.ч. бутадиенового каучуков;

- после термического старения повышаются твердость, условное напряжение, а также уменьшается относительное удлинение при разрыве. У эластомеров на основе комбинации каучуков и бутадиенового каучука существенно снижается условная прочность;

- добавление бутадиенового каучука в резиновую смесь снижает условное напряжение, твердость, плотность и стойкость к воздействию углеводородных сред, но при этом повышается абразивостойкость;

- эластомерные образцы, полученные на основе смеси каучуков, демонстрируют два значения температуры стеклования и фазовых переходов, соответствующие нитрильному и бутадиеновому каучукам. При этом наблюдается смещение температурных показателей: для нитрильной части в сторону низких температур, а для бутадиеновой – в сторону высоких;

- на микроструктуре в объеме эластомеров не наблюдаются резкие межфазные переходы между каучуками. При абразивном

истирании у более стойкого эластомера структура поверхности имеет вид бороздок.

Таким образом, разработка резинотехнических изделий на основе смесей бутадиенового и бутадиен-нитрильного каучуков позволяет создавать эластомеры с оптимальными свойствами для эксплуатации в условиях Севера при контакте с углеводородными средами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. (2017). Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков. *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*, (60(8)), С. 60–64. DOI: 10.6060/tcct.2017608.5474.

2. Дьяконов А.А., Тапыев С.А., Охлопкова А.А., Слепцова С.А., Петрова Н.Н., Винокуров П.В., Кычкин А.К., Стручков Н.Ф. (2021). Исследование свойств эластомеров на основе комбинации изопренового и бутадиен-нитрильного каучуков. *Южно-Сибирский научный вестник*, (3), С. 93–97. DOI: 10.25699/SSSB.2021.37.3.003.

3. Гресь И.М., Демидов Д.В., Востриков Д.С., Гусев Д.О., Коваленко В.В., Устинова С.В. (2017). Исследование низкотемпературных свойств и стойкости к действию авиационного керосина эластомеров на основе пропиленоксидного и эпихлоргидринового каучуков. *Известия Волгоградского государственного технического университета*, (11), С. 113–117.

4. Сандалов С.И., Резников М.С., Ушмарин Н.Ф., Кольцов Н.И. (2014). Разработка термоагрессивостойкой резины для пакерующих эле-

А. А. ДЬЯКОНОВ, А. П. ВАСИЛЬЕВ, А. А. ОХЛОПКОВА, Н. Н. ЛАЗАРЕВА, А. М. СПИРИДОНОВ,
А. К. КЫЧКИН, А. Г. ТУИСОВ, П. В. ВИНОКУРОВ

ментов. *Вестник Казанского технологического университета*, (17(9)), С. 129–132.

5. Чичварин А.В., Игуменнова Т.И. (2011). Явление стабилизации теплового старения связующих на основе товарного полибутадиена смесью фуллеренов группы C₅₀-C₉₂. *Вестник БГТУ*, (4), С. 142–144.

6. Шашок Ж.С. (2021). Упругопрочностные свойства резин на основе БНКС-18 с углеродными наноструктурными материалами и малоактивным техническим углеродом. *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*, (1(241)), С. 88–94.

7. Золотарев В.Л., Аксенов В.И. (2014). Российская промышленность синтетических каучуков в 2013 году. Некоторые итоги. *Промышленное производство и использование эластомеров*, (2), С. 3–7.

8. Фомина А.А., Чемагин А.В. (2015). Потребление синтетических каучуков в РФ. *Каучук и резина*, (3), С. 38–41.

9. Шварц А.Г., Динзбург Б.Н. Совмещение каучуков с пластиками и синтетическими смолами. Москва: Химия, 1972. 224 с.

10. Мухин В.В., Петрова Н.Н., Капитонов Е.А., Афанасьев А.В. (2016). Разработка стойких к авиационным синтетическим маслам резин на основе смесей нитрильных и диеновых каучуков. *Вестник Северо-Восточного федерального университета*, (6(56)), С. 41–50.

11. Тапьев С.А., Дьяконов А.А., Охлопкова А.А., Васильев А.П., Данилова С.Н., Лазарева Н.Н., Кычкин А.К., Туисов А.Г., Винокуров П.В., Спиридонов А.М., Стручков Н.Ф., Анисимов Е.Е. (2023). Исследование влияния соотношения бутадиенового и бутадиен-нитрильного каучуков на свойства резиновых смесей на их основе. *Вопросы материаловедения*, (4(116)), С. 89–98. DOI: 10.22349/1994-6716-2023-116-4-89-98.

Информация об авторах

А. А. Дьяконов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»; научный сотрудник ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

А. П. Васильев – кандидат технических наук, старший научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. А. Охлопкова – доктор технических наук, профессор химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

Н. Н. Лазарева – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, зав. УНТЛ

«Технологии полимерных нанокомпозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. М. Спиридонов – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаб. «Полимерные композиты для Севера» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. К. Кычкин – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

А. Г. Туисов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

П. В. Винокуров – научный сотрудник УНТЛ «Графеновые нанотехнологии» Физико-технического института ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

REFERENCES

1. Ushmarin, N.F., Egorov, E.N. & Kolcov, N.I. (2017). Morozostojkaya rezina na osnove kombinacii butadien-nitrilnogoigidrinovyh kauchukov. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, (60(8)), 60-64. (In Russ.). DOI: 10.6060/tcct.2017608.5474.

2. Dyakonov, A.A., Tapyev, S.A., Ohlopko-va, A.A., Slepcova, S.A., Petrova, N.N., Vinokurov, P.V., Kychkin, A.K. & Struchkov, N.F. (2021). Issledovanie svojstv elastomerov na osnove kombinacii izoprenovogo ibutadien-nitrilnogo kauchukov. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik*, (3), 93-97. (In Russ.). DOI: 10.25699/SSSB.2021.37.3.003.

3. Gres, I.M., Demidov, D.V., Vostrikov, D.S., Gusev, D.O., Kovalenko, V.V. & Ustinova, S.V. (2017). Issledovanie nizkotemperaturnyh svojstv i stojkosti k dejstviyu aviacionnogo kerosina elastomerov na osnove propilenoksidnogo i epihlorgidrinovogo kauchukov. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, (11), 113-117. (In Russ.).

4. Sandalov, S.I., Reznikov, M.S., Ushmarin, N.F. & Kolcov, N.I. (2014). Razrabotka termogressivostojkoj reziny dlya pakeruyushchih elementov. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (17(9)), 129-132. (In Russ.).

5. Chichvarin, A.V. & Igumennova, T.I. (2011). Yavlenie stabilizacii teplovogo stareniya svyazuyushchih na osnove tovarnogo polibutadiena smesy fullerenov grupy C₅₀-C₉₂. *Vestnik BGTU*, (4), 142-144. (In Russ.).

6. Shashok, Zh.S. (2021). Uprugoprochnostnye svojstva rezin na osnove BNKS-18 s uglerodnymi nanostrukturnymi materialami i maloaktivnym tekhnicheskim uglerodom. *Trudy BGTU. Seriya 2: Himicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya*, (1(241)), 88-94. (In Russ.).

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОВОГО И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

7. Zolotarev, V.L. & Aksenov, V.I. (2014). Rossijskay a promyshlennost' sinteticheskikh kauchukov v 2013 godu. Nekotorye itogi. *Promyshlennoe proizvodstvo i ispolzovanie elastomerov*, (2), 3-7. (In Russ.).

8. Fomina, A.A. & Chemagin, A.V. (2015). Potreblenie sinteticheskikh kauchukov v RF. *Kauchuk i rezina*, (3), 38-41. (In Russ.).

9. Shvarc, A.G. & Dinzburg, B.N. (1972). Sovmeshchenie kauchukov s plastikami i sinteticheskimi smolami. Moscow : Himiya. (In Russ.).

10. Muhin, V.V., Petrova, N.N., Kapitonov, E.A. & Afanaseev, A.V. (2016). Razrabotka stojkih k aviacionnym sinteticheskim maslam rezin na osnove smesey nitrilnyhidienovykh kauchukov. *Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta*, (6 (56)), 41-50. (In Russ.).

11. Tapyev, S.A., Dyakonov, A.A., Ohlopko-va, A.A., Vasileev, A.P., Danilova, S.N., Lazareva, N.N., Kychkin, A.K., Tuisov, A.G., Vinokurov, P.V. Spiridonov, A.M., Struchkov, N.F. & Anisimov, E.E. (2023). Issledovanie vliyaniya sootnosheniya butadienovogo i butadien-nitrilnogo kauchukov na svojstva rezinovykh smesey na ih osnove. *Voprosy materialovedeniya*, (4(116)), 89-98. (In Russ.). DOI: 10.22349/1994-6716-2023-116-4-89-98.

Information about the authors

A.A. Dyakonov - Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU; researcher of the "V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

A.P. Vasilev - Candidate of Technical Sci-

ences, senior researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

A.A. Okhlopko-va - Doctor of Technical Sciences, Chief researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

N.N. Lazareva - Candidate of Technical Sciences, Leading researcher - Head of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

A.M. Spiridonov - Candidate of Chemical Sciences, Leading researcher - Head of the laboratory "Polymer composites for the North condition", Institute of Natural Sciences, NEFU.

A.K. Kychkin - Candidate of Technical Sciences, leading researcher of the "V.P. Larionov institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

A.G. Tuisov - Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS".

P.V. Vinokurov - researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Graphene nanotechnologies", Institute of Physics and Technologies, NEFU.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 20 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.