

EDN: INBBYP

УДК 678

## Influence of Carbon Black Content on the Properties of Butadiene Elastomer

Igor S. Makarov<sup>\*a</sup>,  
Afanasii A. Dyakonov<sup>a, b</sup>, Aleksandr M. Spiridonov<sup>a</sup>,  
Tatyana S. Struchkova<sup>a</sup>, Aytalina A. Okhlopkova<sup>a</sup>,  
Nataliya N. Petrova<sup>a</sup>, Nadezhda N. Lazareva<sup>a</sup>,  
Aleksey G. Tuisov<sup>b</sup> and Anatoliy K. Kyckin<sup>b</sup>

<sup>a</sup>North-Eastern Federal University  
Yakutsk, Russian Federation

<sup>b</sup>Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS  
Yakutsk, Russian Federation

Received 28.08.2023, received in revised form 19.09.2023, accepted 22.09.2023

**Abstract.** The paper presents the results of a study of physical and mechanical properties before and after thermal aging, aggressiveness, as well as the temperature properties of elastomers based on butadiene rubber grade SKD-V, depending on the content of low-activity furnace carbon grade P-803. With an increase in the content of carbon black up to 110 wt.h. in the elastomeric matrix, an increase in relative elongation and conditional tensile strength occurs, with a further increase in the content, a decrease is observed. The results obtained after thermal aging of samples and their soaking in AMG-10 hydraulic oil are considered. With an increase in the content of carbon black in the rubber compound, the indicators of density, hardness, conditional stress and aggressiveness increase. After the thermal aging test, an increase in density, hardness and nominal stress is observed, and the elongation and tensile strength decrease. Changing the amount of carbon black in the rubber mixture does not affect the beginning of the segmental mobility of the elastomer, but there is a decrease in the linear-temperature expansion of the samples. Using differential scanning calorimetry, it was found that a change in the amount of carbon black does not affect the glass transition temperature. Using electron microscopy, it was shown that at the optimum content of carbon black, the most uniform distribution of particles occurs in the volume of the elastomeric matrix without the formation of a large number of agglomerates or voids.

**Keywords:** butadiene rubber, carbon black, physical and mechanical properties, aggressiveness, glass transition temperature.

**Acknowledgments.** This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and was carried out under state contracts № FSRG-2021–0016.

---

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

\* Corresponding author E-mail address: misergeevich@mail.ru



## Влияние содержания технического углерода на свойства бутадиенового эластомера

И. С. Макаров<sup>\*а</sup>, А. А. Дьяконов<sup>а, б</sup>, А. М. Спиридонов<sup>а</sup>,  
Т. С. Стручкова<sup>а</sup>, А. А. Охлопкова<sup>а</sup>, Н. Н. Петрова<sup>а</sup>,  
Н. Н. Лазарева<sup>а</sup>, А. Г. Туисов<sup>б</sup>, А. К. Кычкин<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Северо-Восточный федеральный университет  
Российская Федерация, Якутск

<sup>б</sup>Институт физико-технических проблем Севера СО РАН  
Российская Федерация, Якутск

**Аннотация.** В работе приведены результаты исследования физико-механических свойств до и после термического старения, степени набухания в гидравлическом масле, а также температурные свойства эластомеров на основе бутадиенового каучука марки СКД-В в зависимости от содержания малоактивного печного технического углерода марки П-803. С увеличением содержания технического углерода до 110 масс.ч. в эластомерной матрице происходит повышение относительного удлинения и условной прочности на разрыв, с дальнейшим увеличением содержания наблюдается снижение. С увеличением содержания технического углерода в резиновой смеси показатели плотности, твердости, условного напряжения и агрессивностойкости повышаются. После испытания на термическое старение наблюдается повышение плотности, твердости и условного напряжения, а относительное удлинение и предел прочности при разрыве снижаются. При помощи термомеханического анализатора установлено, что увеличение количества содержания технического углерода в резиновой смеси не оказывает существенного влияния на начало сегментальной подвижности эластомеров, но снижает изменение линейных размеров при повышении температуры. Методом дифференциально сканирующей калориметрии установлено, что изменение количества содержания технического углерода не влияет на среднюю температуру стеклования. При оптимальном содержании технического углерода наблюдается наиболее равномерное распределение частиц в объеме эластомерной матрицы без образования большого количества агломератов либо пустот.

**Ключевые слова:** бутадиеновый каучук, технический углерод, упруго-прочностные свойства, агрессивностойкость, температура стеклования.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации НИР по ГЗ № FSRG-2021–0016.

Цитирование: Макаров И. С. Влияние содержания технического углерода на свойства бутадиенового эластомера / И. С. Макаров, А. А. Дьяконов, А. М. Спиридонов, Т. С. Стручкова, А. А. Охлопкова, Н. Н. Петрова, Н. Н. Лазарева, А. Г. Туисов, А. К. Кычкин // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2023, 16(8). С. 977–985. EDN: INBBYP

## Введение

В настоящее время идет активное освоение Арктических регионов Российской Федерации [1], которое невозможно без применения техники в резко континентальных климатических условиях. Одной из составляющей различных агрегатов и узлов техники являются резинотехнические изделия (РТИ), которые зачастую и являются слабым местом во время эксплуатации при температуре окружающей среды минус 50 °С и ниже. При таких температурах резины теряют свои эластические свойства, что повышает их хрупкость и может привести к выходу из строя техники или снижению КПД [2]. В связи с этим перед исследователями становится актуальной задача поиска, разработки, а также изучения влияющих факторов на свойства материалов, способных выдерживать крайне низкие температуры, характерные для Арктики. Выбор ингредиентов резиновой смеси является определяющим при разработке морозостойких РТИ, главным из которых считается каучук, отвечающий за основные эксплуатационные свойства вулканизатов [3]. При изготовлении морозостойких РТИ в основном применяются бутадиеновые, изопреновые, бутадиен-нитрильные с малым содержанием акрилонитрильной кислоты, фторсилоксановые каучуки либо их комбинации [4–6]. Также одним из ингредиентов, применяющихся в производстве эластомеров, является технический углерод (ТУ), который подбирают в зависимости от требуемых свойств конечного продукта. Например, для получения эластомера с повышенной прочностью и жесткостью может использоваться высокое содержание или более активный технический углерод. Однако при увеличении количества ТУ в материале возможно ухудшение других свойств эластомера, таких как его эластичность, устойчивость к истиранию и термическая стабильность.

Таким образом, оптимальное содержание технического углерода в эластомере должно выбираться с учетом требуемых свойств конечного продукта и оптимизироваться в зависимости от специфических потребностей производства и конечного использования материала. Данное исследование направлено на изучение влияния содержания малоактивного технического углерода марки П-803 в резиновой смеси на эксплуатационные свойства бутадиенового эластомера на основе каучука марки СКД-В.

## Объекты и методы исследования

Объектами исследования в работе являются: бутадиеновый каучук марки СКД-В с содержанием цис-1,4-звеньев не менее 96 % (СИБУР, Россия) в качестве основы эластомерной матрицы; печной технический углерод марки П-803 с удельной поверхностью 16 м<sup>2</sup>/г («Ивановский техуглерод и резина», Россия) в качестве наполнителя. Эластомеры на основе каучука СКД-В обладают хорошими морозостойкими свойствами [7]. Добавление технического углерода марки П-803 в резиновые смеси придает оптимальные свойства РТИ для эксплуатации при низких температурах [8].

Смешение ингредиентов резиновой смеси производили в резиносмесителе Plastograph EC Plus (Brabender, Германия) закрытого типа в течение 20 минут при начальной температуре смешения 40 °С. Вулканизация смесей осуществлялась на гидравлическом прессе ПКМВ-100 (Импульс, Россия) при температуре 155 °С в течение 20 минут под давлением 10 МПа. В ходе исследования было рассмотрено 8 вариантов резиновых смесей с разным содержанием ТУ, шаг исследуемого содержания составлял 20 масс.ч. Рецептуры резиновых смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1. Рецепттура резиновой смеси на основе каучука СКД-В с разным содержанием ТУ марки П-803  
 Table 1. Formulation of a rubber compound based on SKD-V rubber with different content of carbon black P-803

№	Ингредиенты	Масс.ч.							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	СКД-В	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	Стеариновая кислота	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
3	Сульфенамид Ц	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4	Оксид цинка	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
5	Сера	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
6	ТУ П-803	50,0	70,0	90,0	110,0	130,0	150,0	170,0	190,0

Упруго-прочностные свойства резин определяли на универсальной испытательной машине Autograph AGS-JSTD (Shimadzu, Япония) (ISO 37–2020); определение стойкости эластомеров к агрессивным углеводородным средам проводили в гидравлическом масле АМГ-10 при комнатной температуре в течение 72 часов (ГОСТ 9.030–74); твердость определяли по методу Шор А (ISO 7619–1–2009); плотность образцов определяли гидростатическим методом (ГОСТ 267–73); остаточное деформационное сжатие (ОДС) (ГОСТ 9.029–74) и стойкость к термическому старению (ГОСТ 9.024–74) проводили после выдержки образцов в лабораторном сушильном шкафу в течение 72 часов при температуре 100 °С. Температуру стеклования исследовали на дифференциальном сканирующем калориметре DSC 204 F1 Phoenix (NETZSCH, Германия). Начало сегментальной подвижности эластомеров определяли на термомеханическом анализаторе ТМА-60/60Н (Shimadzu, Япония) в температурном диапазоне от минус 100 до плюс 100 °С при постоянной нагрузке индентора на образец 0,49 Н. Микроструктуру низкотемпературных сколов эластомеров исследовали на растровом электронном микроскопе JSM-7800F (JEOL, Япония).

### Результаты и их обсуждение

Результаты исследования влияния содержания ТУ в резиновой смеси на свойства бутадиеновых вулканизатов представлены в табл. 2.

С увеличением содержания ТУ в резиновой смеси до 110 масс.ч. наблюдается повышение упруго-прочностных свойств и ОДС эластомеров, с дальнейшим увеличением содержания происходит снижение. Наибольшее значение относительного удлинения при разрыве составляет 284 %, условной прочности 11,2 МПа. Улучшение свойств объясняется введением оптимального количества ТУ в резиновую смесь, вследствие чего происходит его равномерное распределение между макромолекулами каучука с образованием минимального количества пустот и агломератов. Условное напряжение при 100 % деформации с увеличением содержания ТУ повышается с 2,2 до 8,1 МПа, также повышается твердость по Шор А с 63 до 87. Введение большего количества наполнителя в резиновую смесь снижает подвижность макромолекул каучука, вследствие чего повышается сопротивляемость изменению линейных размеров, что приводит к росту условного напряжения при деформации и твердости эластомеров. Плотность вулканизатов повышается с 1,105 г/см<sup>3</sup> до 1,349 г/см<sup>3</sup> в зависимости от количества содержания ТУ в резиновой смеси.

Таблица 2. Свойства вулканизатов на основе каучука СКД-В в зависимости от концентрации ТУ марки П-803

Table 2. Properties of vulcanizates based on SKD-V rubber depending on the concentration of carbon black grade P-803

Свойства	Образец							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Свойства вулканизатов							
ε <sub>p</sub> , %	201	276	283	284	208	161	141	101
f <sub>p</sub> , МПа	3,8	7,3	9,2	11,2	10,8	9,9	9,1	8,2
f <sub>100</sub> %, МПа	2,2	2,8	3,5	4,6	5,8	6,7	7,0	8,1
ρ, г/см <sup>3</sup>	1,105	1,148	1,195	1,241	1,261	1,3	1,329	1,349
Н, Шор А	63	67	72	75	79	82	85	87
ОДС, %	74,3	68,0	68,3	63,0	62,4	73,0	66,0	69,0
ΔQ, %	119,6	107,9	99,7	88,0	82,2	77,7	73,2	69,5
	Свойства вулканизатов после термической обработки (100 °С в течение 72 ч)							
ε <sub>p</sub> , %	113	143	149	122	93	68	59	42
f <sub>p</sub> , МПа	3,0	5,4	7,8	8,4	8,5	8,0	8,3	8,0
f <sub>100</sub> %, МПа	2,7	3,8	5,4	6,9	-	-	-	-
ρ, г/см <sup>3</sup>	1,107	1,157	1,203	1,244	1,266	1,302	1,335	1,354
Н, Шор А	65	72	76	79	83	86	88	90

ε<sub>p</sub>, % – относительное удлинение при разрыве; f<sub>p</sub>, МПа – условная прочность при разрыве; f<sub>100</sub> %, МПа – условное напряжение при 100 % удлинении; ρ, г/см<sup>3</sup> – плотность; Н, Шор А – твердость по Шору А; ОДС, % – остаточное деформационное сжатие; ΔQ, % – степень набухания в среде масла АМГ-10.

Одним из важных показателей при эксплуатации РТИ в технике является способность не терять свои основные функциональные свойства в среде горюче-смазочных жидкостей. Эластомеры на основе бутадиеновых каучуков характеризуются низкой агрессивностью к воздействию углеводородных сред, но в работе приведено исследование степени набухания в среде гидравлического масла АМГ-10 в зависимости от количества содержания ТУ. С увеличением содержания ТУ в резиновой смеси повышается стойкость к набуханию под воздействием гидравлического масла, изменение варьируется от 119,6 до 69,5 %.

После испытания эластомеров на стойкость к термическому воздействию наблюдается изменение физико-механических свойств. Относительное удлинение и условная прочность при разрыве снижается за счет термической деструкции образцов [9]. Увеличение условного напряжения при деформации и твердости происходит за счет снижения подвижности макромолекул каучука вследствие образования дополнительных связей и термической деструкции. Наблюдается увеличение плотности, предположительно за счет улетучивания легких фракций резиновой смеси.

Средние показатели температуры стеклования эластомеров на основе бутадиенового каучука в зависимости от содержания ТУ приведены в табл. 3.

По результатам исследования температуры стеклования видно, что изменение концентрации ТУ в резиновой смеси не оказывает существенного влияния на морозостойкие свойства. Средняя температура стеклования эластомеров находится в пределах от минус 86,8 до минус

Таблица 3. Температуры стеклования эластомеров на основе каучука СКД-В в зависимости от концентрации ТУ марки П-803

Table 3. Glass transition temperatures of elastomers based on SKD-V depending on the concentration of carbon black P-803

Образец	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{\text{стек}}, ^\circ\text{C}$	-86,8	-89,3	-87,8	-87,8	-89,1	-88,7	-89,2	-89,2

$T_{\text{стек}}, ^\circ\text{C}$  – средняя температура стеклования.

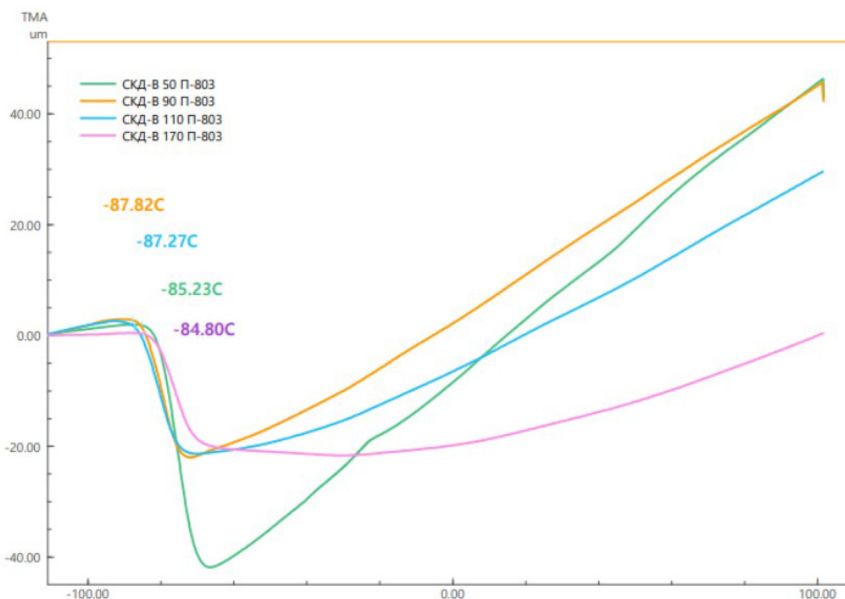


Рис. 1. Кривые термомеханического анализа эластомеров на основе каучука СКД-В с 50, 90, 110, 170 масс.ч. ТУ марки П-803

Fig. 1. Curves of the temperature coefficient of linear expansion of rubber based on SKD-V with 50, 90, 110, 170 wt. h of carbon black P-803

89,3 °C. Из работы [10] известно, что на температуру стеклования эластомеров в основном оказывает влияние активность наполнителей.

На рис. 1 приведены кривые термического расширения эластомеров на основе каучука СКД-В с 50, 90, 110, 170 масс.ч. ТУ П-803.

Сравнительно близкое значение продавливания индентором образцов указывает на то, что изменение количества содержания ТУ в резиновой смеси не оказывает существенного влияния на начало сегментальной подвижности эластомера и находится в температурных пределах от минус 84,80 до минус 87,82 °C. Результаты исследования методами термомеханического анализа и дифференциально сканирующей калориметрии показывают, что высокоэластическая деформация исследуемых образцов под воздействием нагрузки начинается примерно в одинаковом диапазоне, что и стеклование. Наибольшее изменение размеров термомеханической кривой при начале вдавливания индентора наблюдается у эластомерной матрицы с содержанием 50 масс.ч. ТУ и составляет 42 мкм. У образцов с содержанием 90, 110 и 170 масс.ч. ТУ вдавлива-



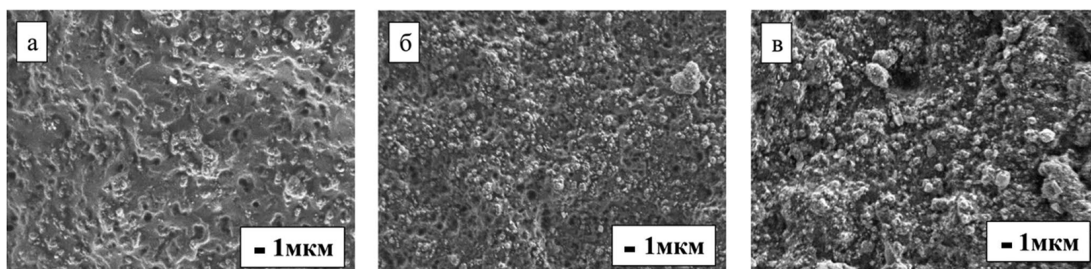


Рис. 2. Микроструктура объема эластомеров на основе каучука СКД-В в зависимости от содержания ТУ марки П-803 в резиновой смеси: а) 50 масс.ч.; б) 110 масс.ч.; в) 190 масс.ч.

Fig. 2. Micrographs of the surface of a low molecular weight cleavage of elastomers based on SKD-V with 50, 110, 190 wt. h of carbon black P-803

ние индентора происходит до 20–23 мкм. С увеличением концентрации ТУ в резиновой смеси уменьшается изменение линейно-термического расширения.

На рис. 2. приведены результаты исследования микроструктуры низкотемпературных сколов эластомеров на основе каучука СКД-В с содержанием 50, 110 и 190 масс.ч. ТУ марки П-803

На микроструктуре поверхности видно, что при введении малого количества ТУ происходит неравномерное распределение по объему эластомерной матрицы, наблюдается пространство, в котором отсутствуют частицы наполнителя (рис. 2а). Образование незаполненного объема между макромолекулами каучука вулканизата снижает упруго-прочностные свойства. При увеличении содержания ТУ до 110 масс.ч. наблюдается более равномерное распределение в объеме, крупные агломераты практически не наблюдаются (рис. 2б). Образец с наиболее равномерным распределением наполнителя в объеме обладает лучшими показателями относительного удлинения и условной прочности на разрыв по сравнению с другими. Дальнейшее увеличение содержания ТУ приводит к образованию большого количества агломератов, являющихся концентраторами напряжения, по которым происходит разрушение, что приводит к снижению упруго-прочностных свойств (рис. 2в). При оптимальном содержании ТУ происходит наиболее равномерное распределение частиц в матрице эластомера без образования большого количества агломератов либо пустот, что оказывает влияние на упруго-прочностные свойства.

### Выводы

По результатам исследования влияния концентрации ТУ марки П-803 на свойства эластомеров на основе бутадиенового каучука марки СКД-В можно сделать следующие выводы:

- относительное удлинение, предел прочности при разрыве и ОДС изменяются в зависимости от количества содержания ТУ в резиновой смеси. В исследуемых резиновых смесях оптимальным содержанием является 110 масс.ч. ТУ, с дальнейшим увеличением содержания происходит снижение;
- плотность, твердость, условное напряжение и стойкость к воздействию масла АМГ-10 с увеличением содержания ТУ в резиновой смеси повышаются;
- плотность, твердость и условное напряжение после термического старения повышаются, а относительное удлинение и предел прочности при разрыве снижаются;

- изменение количества содержания ТУ в резиновой смеси не оказывает влияния на температуру стеклования, которая находится в диапазоне от минус 86,8 до минус 89,3 °С;
- изменение количества содержания ТУ в резиновой смеси не оказывает существенного влияния на начало сегментальной подвижности эластомера, но влияет на линейно-температурное расширение;
- при оптимальном содержании ТУ происходит наиболее равномерное распределение частиц в матрице эластомера без образования большого количества агломератов либо пустот.

### Список литературы / References

- [1] Курочкина А.А., Арапов С.В., Бикезина Т.В. [и др.]. *Развитие социально-экономического потенциала Арктической зоны*. Санкт-Петербург: ООО «Медиа Папир», 2021. 282. [Kurochkina A. A., Arapov S. V., Bikezina T. V. [and etc]. *Development of the Socio-Economic Sector of the Arctic Zone*. St. Petersburg: ООО “Media Papir”, 2021. 282 (in Rus.).]
- [2] Петрова Н.Н., Курлянд С.К. Физико-химические аспекты создания масло- и морозостойких резин на основе смесей эластомеров, *Полимерные композиты*, 1998, 98, 247–252 [Petrova N. N., Kurlyand S. K. Physico-Chemical Aspects of the Creation of Oil- and Frost-Resistant Rubbers Based on Elastomer Mixtures, *Polymer Composites*, 1998, 98, 247–252 (in Rus.).]
- [3] Алексеев А.Г., Альтзицер В.С., Богданов В.В., Бритов В.П., Буканова Н.Н., Бухина М.Ф., ... & Юровский В.С. *Большой справочник резинщика*. М.: ООО «Издательский центр «Текинформ» МАИ», 2012. 744 [Alekseev A. G., Altsitzer V. S., Bogdanov V. V., Britov V. P., Bukanova N. N., Bukhina M. F., ... & Yurovsky V. C. *Great Reference Book of the Rubber Man*. Moscow: ООО “Publishing Center” Tekinform “MAI”, 2012. 744 (in Rus.).]
- [4] Чайкун А.М., Елисеев О. А., Наумов И. С., Венедиктова М. А. Особенности морозостойких резин на основе различных каучуков, *Труды ВИАМ*, 2013, 12, 4 [Chaikun A. M., Eliseev O. A., Naumov I. S., Venediktova M. A. Features of Frost-Resistant Rubbers Based on Various Rubbers, *Proceedings of VIAM*, 2013, 12, 4 (in Rus.).]
- [5] Мухин В.В., Петрова Н. Н., Капитонов Е. А., Афанасьев А. В. Разработка стойких к авиационным синтетическим маслам резин на основе смесей нитрильных и диеновых каучуков, *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*, 2016, 6(56), 41–50 [Mukhin V. V., Petrova N. N., Kapitonov E. A., Afanasiev A. V. Development of Rubbers Resistant to Aviation Synthetic Oils Based on Mixtures of Nitrile and Diene Rubbers, *Bulletin of the North-Eastern Federal University M. K. Ammosova*, 2016, 6(56), 41–50 (in Rus.).]
- [6] Семенова С.Н., Сулейманов Р.Р., Чайкун А.М. Совместное использование этиленпропилендиенового и метилфенилсилоксанового каучуков в рецептуре морозостойкой и озоностойкой резины, *Труды ВИАМ*, 2019, 9(81), 64–72 [Semenova S. N., Suleimanov R. R., Chaikun A. M. Combined Use of Ethylene Propylene Diene and Methylphenylsiloxane Rubbers in the Formulation of Frost-Resistant and Ozone-Resistant Rubber, *Proceedings of VIAM*, 2019, 9(81), 64–72 (in Rus.).]
- [7] Чайкун А.М., Елисеев О. А., Наумов И. С., Венедиктова М. А. Особенности построения рецептур для морозостойких резин, *Авиационные материалы и технологии*, 2013, 3(28), 53–55 [Chaikun A. M., Eliseev O. A., Naumov I. S., Venediktova M. A. Features of Construction of Recipes for Frost-Resistant Rubbers, *Aviation Materials and Technologies*, 2013, 3(28), 53–55 (in Rus.).]



[8] Макаров И.С., Дьяконов А. А., Петрова Н. Н., Охлопкова А. А., Лазарева Н. Н., Кычкин А.К, Кычкин А. А., Тусов А. Г., Винокуров П. В., Гладкина Н. П. Исследование влияния технического углерода на свойства изопреновых эластомеров, *Ползуновский вестник*, 2022, 1, 154–163 [Makarov I. S., Dyakonov A. A., Petrova N. N., Okhlopko A. A., Lazareva N. N., Kychkin A. K., Kychkin A. A., Tuisov A. G., Vinokurov P. V., Gladkina N. P. Investigation of the Effect of Carbon Black on the Properties of Isoprene Elastomers, *Polzunovskiy Bulletin*, 2022, 1, 154–163 (in Rus.)].

[9] Ашейчик А.А., Полонский В.Л. Прогнозирование изменения свойств эластомеров при термическом старении, *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*, 2016, 1, 241–243 [Asheichik A. A., Polonsky V. L. Prediction of Changes in the Properties of Elastomers During Thermal Aging, *Actual Problems of Aviation and Cosmonautics*, 2016, 1, 241–243 (in Rus.)].

[10] Макаров И.С., Дьяконов А. А. Исследование влияния технического углерода на свойства бутадиен-нитрильных эластомеров, *Южно-Сибирский научный вестник*, 2022, 5, 97–101 [Makarov I. S., Dyakonov A. A. Investigation of the Influence of Technical Carbon on the Properties of Nitrile Butadiene Elastomers, *South-Siberian Scientific Bulletin*, 2022, 5, 97–101 (in Rus.)].