

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТОЙКОЙ К МОРСКОЙ ВОДЕ РЕЗИНЫ

Е.Н. Егоров¹, С.И. Сандалов², Н.И. Кольцов¹

¹Кафедра физической химии и высокомолекулярных соединений, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр., 15, Чебоксары, Российская Федерация, 428015

E-mail: enegorov@mail.ru, koltsovni@mail.ru

²Чебоксарское производственное объединение им. В.И. Чапаева, ул. Социалистическая, 1, Чебоксары, Российская Федерация, 428006

E-mail: sandalov-1963@yandex.ru

В статье исследовано влияние новых бутадиен-стирольных каучуков ДССК-615В, ДССК-621В и ДССК-628В, а также бромбутилкаучука ББК-232 на реометрические, физико-механические и динамические свойства резины, используемой для изготовления изделий, устойчивых к воздействию морской воды. В состав резиновой смеси входили: бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРК и хлорбутиловый ХБК-139 каучуки, вулканизирующий агент – сера; ускорители вулканизации – 2,2'-дибензтиазолдисульфид, гуанид Ф; активаторы вулканизации – белила цинковые, стеариновая кислота; противостаритель – нафтам-2; мягчители – канифоль, смола СМПласт, битум нефтяной, фактис и масло индустриальное И-12А; наполнители – технические углероды П 514 и П 803, мел природный, транс-полиноборнен. Резиновая смесь готовилась на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. На реометре MDR 3000 Basic исследовались вулканизационные характеристики полученной резиновой смеси. В дальнейшем резиновую смесь вулканизовали в прессе P-V-100-3RT-2-PCD. Для полученных вулканизатов определялись физико-механические свойства и их изменения после выдержки в морской воде. Динамические параметры (тангенс угла механических потерь и модуль упругости) вулканизатов исследовались на динамическом механическом анализаторе Metraviб VHF 104 при частоте 1000 Гц и температурах 30, 10 и 4 °С. В результате проведенных исследований установлено, что замена каучука СКМС-30АРК на бутадиен-стирольные каучуки ДССК-615В, ДССК-621В и ДССК-628В, и каучука ХБК-19 на бромбутилкаучук ББК-232 приводит к возрастанию минимального и максимального крутящих моментов, и уменьшению времен начала и оптимума вулканизации резиновой смеси. Вулканизаты с новыми бутадиен-стирольными каучуками обладают большими прочностными свойствами и меньшим относительным удлинением по сравнению с вулканизатами на основе бромбутилкаучука ББК-232. После суточной выдержки в морской воде физико-механические свойства и твердость, также, как и масса вулканизатов после недельного воздействия морской воды, изменились в допустимых пределах. Установлено, что замена каучука СКМС-30АРК на каучуки ДССК-621В и ДССК-628В приводит к увеличению тангенса угла механических потерь и уменьшению модуля упругости вулканизатов. Понижение температуры способствует возрастанию динамических свойств вулканизатов. Резиновая смесь на основе комбинации каучуков ДССК-628В и ХБК-139 (ББК-232) при массовом соотношении 75:25 характеризуется улучшенными динамическими свойствами.

Ключевые слова: хлорбутилкаучук, бромбутилкаучук, бутадиен-стирольные каучуки, резина, реометрические, упруго-прочностные и динамические свойства, морская вода

Для цитирования:

Егоров Е.Н., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Исследование свойств стойкой к морской воде резины. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 3. С. 11–16. DOI: 10.6060/RCJ.2023673.2.

For citation:

Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Investigation of the properties of resistant rubber to seawater. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 3. P. 11–16. DOI: 10.6060/RCJ.2023673.2.

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF RESISTANT RUBBER TO SEAWATER

E.N. Egorov¹, S.I. Sandalov², N.I. Kol'tsov¹

¹Department of Physical Chemistry and Macromolecular Compounds, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Moskovsky ave., 15, Cheboksary, 428015, Russia

E-mail: enegorov@mail.ru, koltsovni@mail.ru

²Cheboksary production association named after V.I. Chapaev, st. Socialist, 1, Cheboksary, 428006, Russia

E-mail: sandalov-1963@yandex.ru

The article investigates the effect of new styrene-butadiene caoutchoucs DSSK-615V, DSSK-621V and DSSK-628V, as well as bromobutyl caoutchouc BBK-232 on the rheometric, physical-mechanical and dynamic properties of rubber used to manufacture products resistant to marine water. The composition of the rubber mixture included: butadiene-methylstyrene SKMS-30ARK and chlorobutyl KhBK-139 caoutchoucs, vulcanizing agent - sulfur; vulcanization accelerators - 2,2'-dibenzthiazole disulfide, guanide F; vulcanization activators - zinc white, stearic acid; antioxidant - naphtham-2; softeners - rosin, SMPlast resin, petroleum bitumen, factis and industrial oil I-12A; fillers - technical carbons P 514 and P 803, natural chalk, trans-polynorborene. The rubber mixture was prepared on laboratory rolls LB 320 160/160. On the MDR 3000 Basic rheometer, the vulcanization characteristics of the resulting rubber mixture were studied. Subsequently, the rubber mixture was vulcanized in a P-V-100-3RT-2-PCD press. For the resulting vulcanizates, the physical and mechanical properties and their changes after soaking in sea water were determined. The dynamic parameters (mechanical loss tangent and modulus of elasticity) of the vulcanizates were studied on a Metravib VHF 104 dynamic mechanical analyzer at a frequency of 1000 Hz and temperatures of 30, 10, and 4 °C. As a result of the research, it was found that the replacement of SKMS-30 ARK caoutchouc with styrene-butadiene caoutchoucs DSSK-615V, DSSK-621V and DSSK-628V and KhBK-19 caoutchouc with BBK-232 bromobutyl caoutchouc leads to an increase in the minimum and maximum torques, and a decrease in times of beginning and optimum of vulcanization of the rubber mixture. Vulcanizates with new styrene-butadiene caoutchoucs have greater strength properties and lower relative elongation compared to vulcanizates based on bromobutyl caoutchouc BBK-232. After a daily exposure to sea water, the physical and mechanical properties and hardness, as well as the mass of vulcanizates after a week's exposure to sea water, changed within acceptable limits. It has been established that the replacement of SKMS-30ARK caoutchouc with DSSK-621V and DSSK-628V caoutchoucs leads to an increase in the tangent of the mechanical loss angle and a decrease in the elasticity modulus of vulcanizates. Lowering the temperature promotes an increase in the dynamic properties of vulcanizates. The rubber compound based on a combination of caoutchoucs DSSK-628V and KhBK-139 (BBK-232) at a mass ratio of 75:25 is characterized by improved dynamic properties.

Key words: chlorobutyl caoutchouc, bromobutyl caoutchouc, styrene-butadiene caoutchoucs, rheometric, elastic-strength and dynamic properties, sea water

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальным направлением в производстве резинотехнических изделий является получение резин с высокими физико-механическими и динамическими свойствами [1–8]. В работах [9–11] исследована возможность повышения динамических свойств резин, содержащих *транс*-полиноборборнен. Модификация каучуков и их комбинация с полимерами разной природы и структуры является одним из перспективных путей создания резин с улучшенными вибродемпфиру-

щими свойствами [12–14]. В работе [15] показано, что использование каучуков разной полярности (полярного бутадиен-нитрильного БНКС-28АН и неполярного бутилкаучука БК-1675) приводит к возрастанию динамических параметров резин. Основными показателями динамических параметров резин являются [16, 17]: тангенс угла (коэффициент) механических потерь и модуль упругости. Некоторые из этих показателей определялись в работах [18–20] для резин, используемых в резинотехнической и шинной промышленности. Однако ис-

пользуемые в этих работах динамико-механические анализаторы по своим частотным характеристикам не отвечают современным требованиям по исследованию динамических свойств резин для изделий, подвергаемых воздействию морской воды. В данной статье представлены результаты исследований по замене используемых в настоящее время каучуков на новые каучуки в резине для изделий, устойчивых к воздействию морской воды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследовалась резиновая смесь на основе каучуков СКМС-30АРК и ХБК-139, которая содержала следующие ингредиенты: вулканизирующий агент – сера; ускорители вулканизации – 2,2'-дибензтиазолдисульфид, гуанид Ф; активаторы вулканизации – белила цинковые, стеариновая кислота; противостаритель – нафтам-2; мягчители – канифоль, смола СМПласт, битум нефтяной, фактис и масло индустриальное И-12А; наполнители – технические углероды П 514 и П 803, мел природный, *транс*-полинонборнен. Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при температуре валков вальцев 60–70 °С в течение 25 мин. Реометрические характеристики резиновой смеси исследовались на реометре MDR 3000 Basic фирмы «Mon Tech» при 150 °С в течение 30 мин в соответствии с ASTM D2084-79. Стандартные образцы для определения физико-механических показателей вулканизовали при температуре 150 °С в течение 30 мин в вулканизационном прессе типа P-V-100-3RT-2-PCD. Основные характеристики вулканизатов определяли согласно действующим в резиновой промышленности стандартам: упруго-

прочностные свойства определяли по ГОСТ 270-75; твердость по Шору А – по ГОСТ 263-75; сопротивление раздиру – по ГОСТ 262-79; изменение условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и твердости после воздействия морской воды – по ГОСТ 9.030-74 (метод В); изменение массы после экспозиции в морской воде – по ГОСТ 9.030-74 (метод А). Динамические параметры (модуль упругости, тангенс угла механических потерь) вулканизатов различных вариантов резиновой смеси изучали при температурах 30, 10 и 4 °С на динамическом механическом анализаторе Metravib VNH 104 при режиме деформации «растяжение-сжатие» и частоте 1000 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследовалась возможность равномассовой замены в исходной резиновой смеси каучука СКМС-30АРК на новые бутадиен-стирольные каучуки марок ДССК-615В, ДССК-621В и ДССК-628В, а также хлорбутилкаучука ХБК-139 на бромбутилкаучук ББК-232. Характеристики бутадиен-стирольных каучуков представлены в табл. 1.

Галобутилкаучуки ХБК-139 и ББК-232 (ТУ 20.17.10-096-05766801-2017, ПАО «Нижнекамскнефтехим») имели следующие характеристики: вязкость по Муни МБ₁₊₈ (125 °С) 39 и 32 ед. Муни, массовая доля хлора (брома) 1,20 и 1,74%, соответственно.

Варианты резиновой смеси, их реометрические показатели, а также физико-механические свойства вулканизатов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики бутадиен-стирольных каучуков различных марок (ТУ 20.17.10-213-05766801-2019, ПАО «Нижнекамскнефтехим»)

Показатель	Марка каучука		
	ДССК-615В	ДССК-621В	ДССК-628В
Вязкость по Муни МБ ₁₊₄ (100 °С), ед. Муни	87±7	77±7	77±7
Массовая доля 1,2-звеньев, %	25,0-35,0	57,0-67,0	54,0-64,0
Массовая доля связанного стирола, %	12,0-18,0	18,0-24,0	24,0-30,0
Массовая доля антиоксиданта неокрашивающего типа, %	0,1	0,1	0,1

Таблица 2

Варианты и свойства резиновой смеси и вулканизатов

Ингредиенты	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
СКМС-30 АРК, масс. ч.	75,0	-	-	-	-	-	-
ДССК-615В, масс. ч.	-	75,0	-	-	75,0	-	-
ДССК-621В, масс. ч.	-	-	75,0	-	-	75,0	-
ДССК-628В, масс. ч.	-	-	-	75,0	-	-	75,0

ХБК-139 масс. ч.	25,0	25,0	25,0	25,0	-	-	-
ББК-232, масс. ч.	-	-	-	-	25,0	25,0	25,0
Реометрические показатели резиновой смеси							
S_{max} , дН·м	8,19	11,33	9,66	9,58	10,30	8,43	9,20
S_{min} , дН·м	1,13	2,09	1,60	1,58	1,87	1,44	1,71
t_{90} , мин	6,95	4,60	5,03	5,04	4,54	5,13	4,54
t_s , мин	20,90	14,41	17,46	17,65	15,64	19,58	18,82
Физико-механические свойства вулканизатов							
f_p , МПа	6,5	6,6	6,7	6,6	5,7	5,9	6,4
ϵ_p , %	640	460	490	480	430	430	430
H , ед. Шор А	52	58	59	58	56	55	56
B , кН/м	23	19	21	21	20	26	29
Изменение физико-механических свойств и твердости вулканизатов после воздействия морской воды (23°C×24 часа)							
Δf_p , %	-6,2	-5,5	-6,4	-3,1	-5,7	-6,7	-4,0
$\Delta \epsilon_p$, %	-1,6	-3,9	-4,1	-2,3	-3,3	-4,6	-3,7
ΔH , ед. Шор А	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-1
Изменение массы вулканизатов после воздействия морской воды (23°C×7 сут)							
Δm , %	0,27	0,36	0,59	0,39	0,37	0,57	0,40
Примечание: S_{max} – максимальный крутящий момент; S_{min} – минимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации; f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость; B – сопротивление раздиру; Δf_p , $\Delta \epsilon_p$, Δm – относительные изменения условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и массы; ΔH – разность твердостей резины после и до выдержки в морской воде.							

На рисунке приведены полученные на реометре MDR 3000 Basic фирмы «Mon Tech» вулканизационные кривые.

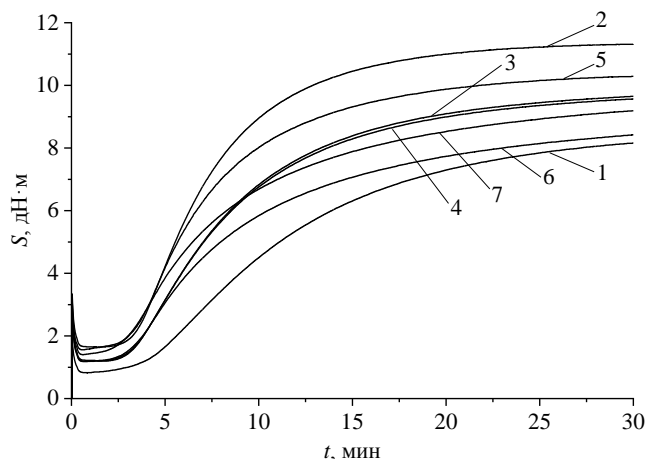


Рис. Вулканизационные кривые резиновой смеси (номера кривых соответствуют номерам вариантов)

Как видно, равномассовая замена каучука СКМС-30АРК на бутадиен-стирольные каучуки ДССК-615В, ДССК-621В и ДССК-628В в вариантах 2-4 способствует увеличению минимального и максимального крутящих моментов резиновой смеси. При этом времена начала и оптимума вулканизации уменьшаются. Аналогичные изменения реометрических свойств наблюдаются для вариан-

тов 5-7 резиновой смеси, в которых хлорбутилкаучук ХБК-139 был заменен на бромбутилкаучук ББК-232. Из данных табл. 2 следует, что вулканизаты 2-4 вариантов обладают большими прочностными свойствами и меньшим относительным удлинением по сравнению с вулканизатами 5-7 вариантов. После суточной выдержки в морской воде физико-механические свойства и твердость, а также масса после недельного воздействия морской воды вулканизатов всех вариантов резиновой смеси незначительно в допустимых пределах изменились. В табл. 3 приведены динамические параметры (модуль упругости E и тангенс угла механических потерь $\tan \delta$) для исследованных образцов резины при 30, 10 и 4 °С.

Как видно из табл. 3, равномассовая замена каучука СКМС-30АРК на каучуки ДССК-621В и ДССК-628В приводит к увеличению тангенса угла механических потерь и уменьшению модуля упругости вулканизатов. Понижение температуры способствует возрастанию динамических свойств вулканизатов. Наибольшими значениями тангенса угла механических потерь характеризуются вулканизаты четвертого и седьмого вариантов резиновой смеси на основе комбинации каучуков ДССК-628В:ХБК-139 (ББК-232) = 75:25 мас. ч. Изделия, изготовленные из этих вариантов резиновой смеси, должны обладать лучшими динамическими свойствами.

Таблица 3

Динамические свойства вулканизатов

Вариант	Температура, °С					
	30		10		4	
	E , Па	$\text{tg}\delta$	E , Па	$\text{tg}\delta$	E , Па	$\text{tg}\delta$
1	$2,02 \cdot 10^7$	0,45	$4,64 \cdot 10^7$	0,49	$5,74 \cdot 10^7$	0,52
2	$1,66 \cdot 10^7$	0,43	$3,91 \cdot 10^7$	0,44	$4,72 \cdot 10^7$	0,47
3	$1,97 \cdot 10^7$	0,62	$6,59 \cdot 10^7$	0,70	$9,34 \cdot 10^7$	0,77
4	$1,97 \cdot 10^7$	0,62	$8,73 \cdot 10^7$	0,71	$1,32 \cdot 10^8$	0,79
5	$1,42 \cdot 10^7$	0,34	$2,60 \cdot 10^7$	0,39	$3,15 \cdot 10^7$	0,41
6	$1,53 \cdot 10^7$	0,53	$3,64 \cdot 10^7$	0,68	$5,10 \cdot 10^7$	0,73
7	$2,23 \cdot 10^7$	0,58	$5,78 \cdot 10^7$	0,71	$8,65 \cdot 10^7$	0,78

ВЫВОДЫ

Исследовано влияние замены каучука СКМС-30АРК на бутадиен-стирольные каучуки ДССК и хлорбутилкаучука ХБК-139 на бромбутилкаучук ББК-232 на реометрические свойства резиновой смеси, физико-механические, динамические показатели и стойкость к воздействию морской воды вулканизатов. Установлено, что резина на основе комбинации каучуков при массовом соотно-

шении ДССК-628В:ХБК-139 (ББК-232) = 75:25 характеризуется улучшенными упруго-прочностными, динамическими свойствами и устойчивостью к воздействию морской воды.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радуюцкий В.Ю., Шульженко В.Н. Вест. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 64–66.
2. Tomyangkul S., Pongmuksuwan P., Harnnarongchai W., Chaochanchaikul K. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2016. V. 35. N 8. P. 688–697. DOI: 10.1177/0731684415627295.
3. Wang K., Yan X. EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2018. V. 128. N 1. P. 128. DOI: 10.1186/s13640-018-0372-9.
4. Jiang X., Yang Z., Wang Z., Zhang F., You F., Yao C. Materials. 2018. V. 11. N 4. P. 474. DOI: 10.3390/ma11040474.
5. Jiang X., Wang Z., Yang Z., Zhang F., You F., Yao C. Polymers. 2018. V. 10. N 9. P. 946. DOI: 10.3390/polym10090946.
6. Liu C., Fan J., Chen Y. Polymer Testing. 2019. V. 79. P. 106003. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.106003.
7. Pöschl M., Vašina M., Zádrapa P., Měřínská D., Žaludek M. Materials. 2020. V. 13. N 10. P. 2394. DOI: 10.3390/ma13102394.
8. Zhang J., Wang L., Zhao Y. Fabrication of novel hindered phenol/phenol resin/nitrile butadiene rubber hybrids and their long-period damping properties. *Polymer Composites*. 2012. V. 33 N 12. P. 2125–2133. doi:10.1002/pc.22352.
9. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2020. Т. 63. № 11. С. 96–102. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.
10. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И., Ворончихин В.Д. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2021. Т. 14. № 1. С. 38–44. DOI: 10.17516/1998-2836-0214.

REFERENCES

1. Radoutsky V.Yu., Shulzhenko V.N. Vest. BG TU im. V.G. Shukhova. 2016. N 5. P. 64–66 (in Russian).
2. Tomyangkul S., Pongmuksuwan P., Harnnarongchai W., Chaochanchaikul K. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2016. V. 35. N 8. P. 688–697. DOI: 10.1177/0731684415627295.
3. Wang K., Yan X. EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2018. V. 128. N 1. P. 128. DOI: 10.1186/s13640-018-0372-9.
4. Jiang X., Yang Z., Wang Z., Zhang F., You F., Yao C. Materials. 2018. V. 11. N 4. P. 474. DOI: 10.3390/ma11040474.
5. Jiang X., Wang Z., Yang Z., Zhang F., You F., Yao C. Polymers. 2018. V. 10. N 9. P. 946. DOI: 10.3390/polym10090946.
6. Liu C., Fan J., Chen Y. Polymer Testing. 2019. V. 79. P. 106003. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.106003.
7. Pöschl M., Vašina M., Zádrapa P., Měřínská D., Žaludek M. Materials. 2020. V. 13. N 10. P. 2394. DOI: 10.3390/ma13102394.
8. Zhang J., Wang L., Zhao Y. Fabrication of novel hindered phenol/phenol resin/nitrile butadiene rubber hybrids and their long-period damping properties. *Polymer Composites*. 2012. V. 33 N 12. P. 2125–2133. doi:10.1002/pc.22352.
9. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. 2020. V. 63. N 11. P. 96–102 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.
10. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I., Voronchikhin V.D. J. Sib. Fed. Univ. Chem. 2021. V. 14. N 1. P. 38–44 (in Russian). DOI: 10.17516/1998-2836-0214.
11. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. 2021. V. 65. N 1. P. 56–61 (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2021651.6.

11. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Российский химический журнал. 2021. Т. 65. № 1. С. 56–61. DOI: 10.6060/rcj.2021651.6.
12. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Саломатина Е.В., Матюнин А.Н. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 5. С. 94–102. DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6575.
13. Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Григорьев В.С., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Российский химический журнал. 2022. Т. 66. № 1. С. 29–34. DOI: 10.6060/rcj.2022661.5.
14. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Inorganic Materials: Applied Research. 2022. V. 13. N 4. P. 1019–1023. DOI: 10.1134/S2075113322040104.
15. Стрижак Е.А., Раздьяконова Г.И., Маратканова Е.А., Бурьян Ю.А., Адяева Л.В., Аврейцевич Н.В., Митряева Н.С. Омский науч. вестник. 2013. № 3 (123). С. 308–312.
16. Сытый Ю.В., Сагомонова В.А., Кислякова В.И., Большаков В.А. Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. № 3. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru>.
17. Платонов М.М., Шулдешов Е.М., Нестерова Т.А., Сагомонова В.А. Труды ВИАМ. 2016. № 4 (40). С. 76–84.
18. Мalyutin В.И., Трибelsкий И.А., Бохан В.В., Раздьяконова Г.И. Каучук и резина. 2013. № 3. С. 64–67.
19. Дорожкин В.П., Муродян В.Е., Мохнаткин А.М., Мухтаров А.Р., Мохнаткина Е.Г. Каучук и резина. 2016. № 5. С. 40–45.
20. Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Карнет Ю.Н., Гамлицкий Ю.А., Мудрук В.И. Каучук и резина. 2017. № 1. С. 58–62.
12. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Salomatina E.V., Matyunin A.N. ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2022. V. 65. N 5. P. 94–102 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6575.
13. Ushmarin N.F., Egorov E.N., Grigor'ev V.S., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. 2022. V. 66. N 1. P. 29–34 (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2022661.5.
14. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Inorganic Materials: Applied Research. 2022. V. 13. N 4. P. 1019–1023. DOI: 10.1134/S2075113322040104.
15. Strizhak E.A., Razd'yakonova G.I., Maratkanova Ye.A., Bur'yan Yu.A., Adyayeva L.V., Avreytsevich N.V., Mitryayeva N.S. Omskiy nauchnyy vestnik. 2013. N 3 (123). P. 308–312 (in Russian).
16. Syty Yu.V., Sagomonova V.A., Kislyakova V.I., Bolshakov V.A. Trudy VIAM: elektron. nauch.-tekhnich. zhurn. 2013. N 3. Art. 06 (in Russian). URL: <http://www.viam-works.ru>.
17. Platonov M.M., Shuldeshev E.M., Nesterova T.A., Sagomonova V.A. Trudy VIAM. 2016. N 4 (40). P. 76–84 (in Russian).
18. Malyutin V.I., Tribelskiy I.A., Bokhan V.V., Razdyakonova G.I. Kauchuk i rezina. 2013. N 3. P. 64–67 (in Russian).
19. Dorozhkin V.P., Murodyan V.E., Mokhnatkin A.M., Mukhtarov A.R., Mokhnatkina E.G. Kauchuk i rezina. 2016. N 5. P. 40–45 (in Russian).
20. Vlasov A.N., Volkov-Bogorodsky D.B., Karnet Yu.N., Gamlitskiy Yu.A., Mudruk V.I. Kauchuk i rezina. 2017. N 1. P. 58–62 (in Russian).

Поступила в редакцию 13.07.2023
Принята к опубликованию 25.09.2023

Received 13.07.2023
Accepted 25.09.2023