

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАТОМИТОВ НА СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов

Кафедра 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

В работе исследовано влияние диатомитов NDP-D-400 и NDP-230 на реометрические характеристики резиновой смеси, физико-механические, эксплуатационные и динамические свойства вулканизатов на основе комбинации каучуков общего и специального назначения. В состав резиновой смеси входили бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРК, бутадиен-нитрильный СКН-2655 и цис-изопреновый СКИ-3 каучуки, а также следующие ингредиенты: ускоритель вулканизации – N-циклогексил-2-бензотиазолсульфенамид; вулканизирующие агенты – сера, тетраметилтиурамдисульфид и N,N'-дитиодиморфолин; активаторы вулканизации – цинковые белила, стеариновая кислота; стабилизаторы – ацетонанил Н, N-изопропил-N'-фенил-пара-фенилендиамин; диспергатор – генсол ХКП; мягчитель – масло индустриальное И-12А; замедлитель подвулканизации – N-нитрозодинифениламин; наполнители – транс-полинонборнен, технические углероды N 220, П 514 и диоксид кремния Zeosil 1165 MP. Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Первый вариант резиновой смеси не содержал диатомиты, второй – четвертый и пятый – седьмой варианты содержали диатомиты NDP-D-400 и NDP-230 в количествах 5,0, 10,0 и 15,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков. Реометрические характеристики резиновой смеси изучали на реометре MDR 3000 Basic при 143 °С в течение 40 мин. Для определения физико-механических показателей резины стандартные образцы всех вариантов резиновой смеси вулканизовали при температуре 143 °С в течение 20 мин в вулканизационном прессе Р-V-100-3RT-2-PCD. Исследования физико-механических и эксплуатационных свойств вулканизатов проводили согласно существующим в резиновой промышленности стандартам. Динамические параметры (тангенс угла механических потерь и модуль упругости) вулканизатов различных вариантов резиновой смеси изучали при температуре 30 °С на динамическом механическом анализаторе Metravib VHF 104. Установлено, что варианты резиновой смеси, содержащие 10,0 мас. ч. диатомитов, характеризуются улучшенными технологическими свойствами. Вулканизаты этих же вариантов резиновой смеси обладают высокими прочностными свойствами и наименьшими их изменениями при воздействии агрессивных сред. Вулканизаты, содержащие диатомит NDP-D-400, характеризуется лучшими динамическими свойствами.

Ключевые слова: каучуки общего и специального назначения, диатомиты, резиновая смесь, вулканизаты, реометрические, физико-механические, эксплуатационные и динамические свойства

STUDY OF THE EFFECT OF DIATOMITES ON THE PROPERTIES OF RUBBER BASED ON GENERAL AND SPECIAL PURPOSE CAOUTCHOUCS

E.N. Egorov, N.I. Kol'tsov

Department 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

In this work, the influence of diatomites NDP-D-400 and NDP-230 on the rheometric characteristics of the rubber mixture, physical-mechanical, operational and dynamic properties of vulcanizates based on a combination of general and special rubbers was studied. The composition of

the rubber mixture included butadiene-methylstyrene SKMS-30ARK, butadiene-nitrile SKN-2655 and cis-isoprene SKI-3 caoutchoucs as well as the following ingredients: vulcanization accelerator – N-cyclohexyl-2-benzothiazolesulfenamide; vulcanizing agents – sulfur, tetramethylthiuram disulfide and N,N'-dithiodimorpholine; vulcanization activators – zinc white, stearic acid; stabilizers – acetonyl H, N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine; dispersant – Hepsol HKP; softener – industrial oil I-12A; scorch retarder – N-nitrosodiphenylamine; fillers – trans-polynorbornene, technical carbons N 220, P 514 and silicon dioxide Zeosil 1165 MP. The rubber mixture was prepared on laboratory rollers LB 320 160/160. The first version of the rubber mixture did not contain diatomites, the second – fourth and fifth – seventh options contained diatomites NDP-D-400 and NDP-230 in amounts of 5.0, 10.0 and 15.0 wt. part per 100.0 wt. including rubbers. The rheometric characteristics of the rubber compound were studied on an MDR 3000 Basic rheometer at 143 °C for 40 min. To determine the physical and mechanical properties of rubber, standard samples of all variants of the rubber mixture were vulcanized at a temperature of 143 °C for 20 min in a P-V-100-3RT-2-PCD vulcanization press. Studies of the physical-mechanical and operational properties of vulcanizates were carried out in accordance with the standards existing in the rubber industry. The dynamic parameters (mechanical loss tangent and modulus of elasticity) of vulcanizates of various variants of the rubber compound were studied at a temperature of 30 °C on a Metravib VHF 104 dynamic mechanical analyzer. It was found that the variants of the rubber compound containing 10.0 wt. part diatomites, are characterized by improved technological properties. The vulcanizates of the same variants of the rubber compound have high strength properties and their least changes when exposed to aggressive media. Vulcanizates containing diatomite NDP-D-400 are characterized by better dynamic properties.

Keywords: caoutchoucs of general and special purpose, diatomites, rubber compound, vulcanizates, rheometric, physical-mechanical, operational and dynamic properties

Для цитирования:

Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Исследование влияния диатомитов на свойства резины на основе каучуков общего и специального назначения. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 3. С. 93–98. DOI: 10.6060/rcj.2025693.10.

For citation:

Egorov E.N., Kol'tsov N.I. Study of the effect of diatomites on the properties of rubber based on general and special purpose caoutchoucs. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 3. P. 93–98. DOI: 10.6060/rcj.2025693.10.

ВВЕДЕНИЕ

Известно [1, 2], что резины за счет своей упругой эластичной структуры обладают более высокими динамическими свойствами по сравнению с другими материалами. Использование комбинаций каучуков разной природы [3-14] и специальных ингредиентов [15-21] позволяет улучшить динамические свойства резин. В работах [22-25] в качестве таких ингредиентов применялись *транс*-полиноборнен и диоксид кремния Silica 1165. В [26] исследовалась возможность частичной и полной замены наполнителей (каолина, технических углеродов N 220 и П 514 и диоксида кремния Zeosil 1165 MP) в резине на основе каучуков общего и специального назначения на дисперсные наполнители: диатомиты NDP-D-400 и NDP-230, микрокварц и гидросиликат магния. Установлена эффективность замены каолина на диатомиты. В данной статье исследовано влияние диатомитов на свой-

ства этой резины с целью определения оптимального их содержания.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Резиновая смесь на основе комбинации бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК, бутадиен-нитрильного СКН-2655 и *цис*-изопренового СКИ-3 каучуков содержала следующие ингредиенты: ускоритель вулканизации – N-циклогексил-2-бензотиазолсульфенамид; вулканизирующие агенты – серу, тетраметилтиурамдисульфид и N,N'-дитиодиморфолин; активаторы вулканизации – цинковые белила, стеариновую кислоту; стабилизаторы – ацетонанил Н, воск защитный ЗВ-П, N-изопропил-N'-фенил-*пара*-фенилендиамин; модификатор – гепсол ХКП; мягчители – канифоль, масло промышленное И-12А; замедлитель подвулканизации – N-нитрозодифениламин; наполнители – *транс*-полиноборнен, технические углероды N 220, П 514 и диоксид кремния Zeosil 1165 MP. Для повышения фи-

зико-механических свойств резины содержание обоих технических углеродов увеличили в 1,2 раза по сравнению с их количествами, использованными в [26]. В данной работе изучалось влияние диатомитов NDP-D-400 и NDP-230 на свойства исследуемой резины.

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 143 °С в течение 40 мин в соответствии с ASTM D2084-79. Стандартные образцы для определения физико-механических показателей вулканизовали при температуре 143 °С в течение 20 мин в вулканизационном прессе 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; изменение условной прочности при растяжении, относительного удли-

нения при разрыве и твердости после старения на воздухе – по ГОСТ 9.024-74; изменение условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и твердости после воздействия агрессивных углеводородных сред – по ГОСТ 9.030-74 (метод В); изменение массы после воздействия агрессивных сред – по ГОСТ 9.030-74 (метод А). Динамические параметры (тангенс угла механических потерь и модуль упругости) вулканизатов различных вариантов резиновой смеси изучали при температуре 30 °С на динамическом механическом анализаторе Metravib VHF 104 в режиме деформации «растяжение-сжатие» и частоте 1000 Гц.

РЕЗУЛЬТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены исследованные варианты резиновой смеси: первый вариант не содержал диатомиты, второй – четвертый и пятый – седьмой варианты смеси готовились соответственно с использованием диатомитов NDP-D-400 и NDP-230 в количестве 5,0, 10,0 и 15,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков.

Таблица 1

Варианты и свойства резиновой смеси, физико-механические характеристики вулканизатов

Table 1. Variants and properties of the rubber compound, physical and mechanical characteristics of vulcanizates

Диатомиты, показатели	Варианты резиновой смеси						
	1	2	3	4	5	6	7
NDP-D-400, мас. ч.	-	5,0	10,0	15,0	-	-	-
NDP-230, мас. ч.	-	-	-	-	5,0	10,0	15,0
Реометрические свойства резиновой смеси							
S_{max} , дН·м	20,46	21,58	22,38	21,33	21,57	23,14	24,37
S_{min} , дН·м	3,43	3,62	3,83	3,64	3,71	3,79	3,97
t_s , мин	4,59	4,76	4,84	4,68	4,91	4,96	4,81
t_{90} , мин	17,77	15,94	16,23	17,05	16,79	15,43	14,09
Физико-механические свойства вулканизатов							
f_{100} , МПа	4,9±0,1	5,1±0,2	5,3±0,2	4,2±0,1	5,2±0,2	5,4±0,2	5,0±0,2
f_p , МПа	12,6±0,5	12,8±0,5	13,2±0,5	10,8±0,4	12,9±0,4	13,7±0,5	12,0±0,4
ϵ_p , %	320±12	310±11	320±11	270±9	290±11	280±11	260±10
H , ед. Шор А	72±1	74±1	75±1	77±1	73±1	76±1	79±1

Примечание: S_{max} – максимальный крутящий момент; S_{min} – минимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации; f_{100} – условное напряжение при 100%-ном растяжении; f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость

На рис. приведены кривые вулканизации различных вариантов резиновой смеси.

На основании этих кривых были определены реометрические свойства резиновой смеси, которые приведены в табл. 1. Как видно, с увеличением количеств обоих диатомитов наблюдаются экстремальные зависимости минимального крутящего момента и времени начала вулканизации с максимальными их величинами для вариантов 3 и 6 резиновой смеси. Следовательно, варианты резиновой смеси, содержащие 10,0 мас. ч. диатомитов,

характеризуются улучшенными технологическими свойствами.

Результаты исследований физико-механических характеристик вулканизатов резиновой смеси также представлены в табл. 1. Как видно, вулканизаты третьего и шестого вариантов резиновой смеси, содержащие 10,0 мас. ч. диатомитов NDP-D-400 и NDP-230, обладают наибольшими прочностными показателями: условным напряжением при 100%-ном удлинении и условной прочностью при растяжении.

В дальнейшем определялись эксплуатационные свойства – изменения упруго-прочностных показателей и твердости вулканизатов после суточного термического старения при 100 °С на воздухе и в СЖР-1, табл. 2.

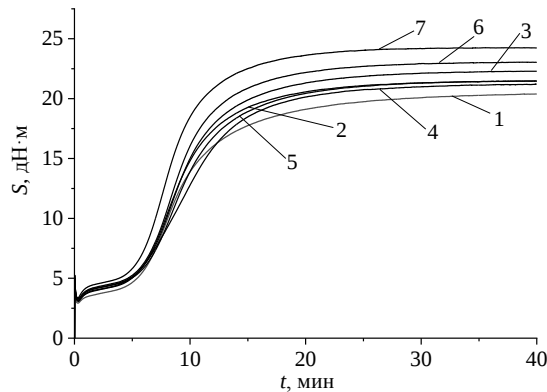


Рис. Кривые вулканизации различных вариантов резиновой смеси (номера кривых соответствуют номерам вариантов резиновой смеси)
Fig. Vulcanization curves for various rubber compounds (numbers of curves correspond to the numbers of rubber compounds)

Из данных табл. 2 следует, что наименьшими изменениями упруго-прочностных свойств

после суточного термоокислительного старения на воздухе и в СЖР-1 обладают вулканизаты третьего и шестого вариантов, содержащие диатомиты NDP-D-400 и NDP-230, соответственно.

Исследования изменения массы вулканизатов после их выдержки при температуре 23 °С в течение 24 ч в различных агрессивных средах показали, что в масле индустриальном И-20А не превышает 7%, в воде – 0,9% и СЖР-1 – 12%. Наименьшими изменениями массы в этих трех средах обладают вулканизаты, содержащие 10,0 мас. ч. обоих диатомитов.

Методом динамического механического анализа были исследованы динамические свойства вулканизатов (тангенс угла механических потерь $tg\delta$ и модуль упругости E'). Результаты приведены в табл. 2. Как видно, вулканизаты, содержащие диатомит NDP-D-400, по сравнению с вулканизатами, содержащими диатомит NDP-230, характеризуются повышенными значениями $tg\delta$ и меньшими величинами E' , а, следовательно, лучшими динамическими свойствами.

Таблица 2

Изменение упруго-прочностных показателей и твердости вулканизатов после термического старения
Table 2. Change in elastic-strength parameters and hardness of vulcanizates after thermal aging

Показатель	Варианты резиновой смеси						
	1	2	3	4	5	6	7
Изменение свойств вулканизатов после старения на воздухе							
$\Delta f_p, \%$	-8,7±0,3	-10,3±0,4	-9,8±0,4	-13,8±0,6	-13,2±0,5	-10,7±0,4	-12,2±0,5
$\Delta \varepsilon_p, \%$	-45,5±1,8	-29,0±1,2	-21,0±0,8	-22,2±0,9	-21,2±0,8	-14,3±0,6	-15,4±0,6
ΔH , ед. Шор А	+4±1	+4±1	+2±1	+2±1	+4±1	+2±1	+1±1
Изменение свойств вулканизатов после старения в СЖР-1							
$\Delta f_p, \%$	-38,1±1,5	-34,4±1,3	-31,8±1,2	-34,1±1,3	-26,8±1,1	-24,6±0,9	-26,3±1,5
$\Delta \varepsilon_p, \%$	-28,1±1,1	-22,6±0,9	-20,7±0,8	-21,1±0,9	-18,3±0,7	-16,8±0,4	-17,4±0,7
ΔH , ед. Шор А	-13±1	-12±1	-10±1	-10±1	-9±1	-7±1	-8±1
Динамические свойства вулканизатов резиновой смеси							
$tg\delta$	0,210±0,005	0,212±0,005	0,214±0,004	0,227±0,006	0,211±0,005	0,217±0,005	0,208±0,005
$E' \cdot 10^{-7}$, Па	5,19±0,12	6,32±0,15	6,54±0,16	6,31±0,15	6,41±0,16	6,68±0,17	6,91±0,18

Примечание: Δf_p , $\Delta \varepsilon_p$, – относительное изменение условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве; ΔH – разность твердостей резины после и до выдержки в агрессивной среде; $tg\delta$ – тангенс угла механических потерь; E' – модуль упругости

ВЫВОДЫ

Исследовано влияние диатомитов NDP-D-400 и NDP-230 на реометрические свойства резиновой смеси, физико-механические, эксплуатационные и динамические показатели резины на основе каучуков общего и специального назначения

(изопренового, бутадиен-метилстирольного и бутадиен-нитрильного). Установлено, что варианты резины, содержащие оба диатомита в количестве 10,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков, могут быть рекомендованы для изготовления изделий, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

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

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

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Справочник по технической акустике: пер. с немецк / под ред. М. Хекла и Х. Мюллера. Л.: Судостроение. 1980. 440 с.
2. Справочник по акустике / В.К. Иофе, В.Г. Корольков, М.А. Сапожков / Под общ. ред. М.А. Сапожкова. М: Связь. 1979. 312 с.
3. Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Григорьев В.С., Санда-лов С.И., Кольцов Н.И. Влияние хлорбутилкаучука на динамические свойства резины на основе каучуков общего назначения. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. 66. № 1. С. 29–34. DOI: 10.6060/rcj.2022661.5.
4. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Саломатина Е.В., Матюнин А.Н. Влияние полиизобутилена на физико-механические, эксплуатационные, диэлектрические и динамические свойства резины для прокладок рельсовых скреплений. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 5. С. 94–102. DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6575.
5. 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.
6. Liu K., Lv Q., Hua J. Study on damping properties of HVBR/EVM blends prepared by in situ polymerization. *Polymer Testing*. 2017. V. 60. P. 321–325. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2017.02.026.
7. Yu F., Lu A., Lu J., Wang Z., Zhang Q., Geng C., Li Z. Effect of phenyl content, sample thickness and compression on damping performances of silicone rubber: A study by dynamic mechanical analysis and impact damping test. *Polymer Testing*. 2019. V. 80. P. 106101. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.106101.
8. Hejna A., Korol J., Przybysz-Romatowska M., Zedler Ł., Chmielnicki B., Formela K. Waste tire rubber as low-cost and environmentally-friendly modifier in thermoset polymers – A review. *Waste Management*. 2020. V. 108. P. 106–118. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.04.032.
9. Qin R., Huang R., Lu X. Use of gradient laminating to prepare NR/ENR composites with excellent damping performance. *Materials and Design*. 2018. V. 149. P. 43–50. DOI: 10.1016/j.matdes.2018.03.063.
10. Zhao X., Yang J., Zhao D., Lu Y., Wang W., Zhang L., Nishi T. Natural rubber/nitrile butadiene rubber/hindered phenol composites with high-damping properties. *International Journal of Smart and Nano Materials*. 2015. V. 6. N 4. P. 239–250. DOI: 10.1080/19475411.2015.1131399.
11. Стрижак Е.А., Раздьяконова Г.И., Маратканова Е.А., Бурьян Ю.А., Адяева Л.В., Аврейцевич Н.В., Митряева Н.С. Роль полярности каучука в формировании гистерезисных свойств резин в условиях гармонического динамического напряжения. *Омский науч. вестник*. 2013. № 3 (123). С. 308–312.
12. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Исследование эксплуатационных и динамических свойств резины для изделий, работающих в морской воде. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 11. С. 96–102. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.
13. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И., Ворончихин В.Д. Исследование динамических свойств стойкой к морской воде резины. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия*. 2021. Т. 14. № 1. С. 38–44. DOI: 10.17516/1998-2836-0214.
1. Handbook of technical acoustics: per. from German / ed. M. Heckl and H. Müller. L.: Sudostroyeniye. 1980. 440 p. (in Russian).
2. Handbook of acoustics / V.K. Iofe, V.G. Korolkov, M.A. Sapozhkov / Under the general. ed. M.A. Sapozhkov. M: Svyaz'. 1979. 312 p. (in Russian).
3. Ushmarin N.F., Egorov E.N., Grigor'ev V.S., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Influence of Chlorobutyl Caoutchouc on the Dynamic Properties of a Rubber Based on General-Purpose Caoutchoucs. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. 66. N 1. P. 29–34. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2022661.5.
4. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Salomatina E.V., Matyunin A.N. The effect of polyisobutylene on physical-mechanical, operational, dielectric and dynamic properties of rubber for laying rail fasteners. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 5. P. 94–102. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6575.
5. 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.
6. Liu K., Lv Q., Hua J. Study on damping properties of HVBR/EVM blends prepared by in situ polymerization. *Polymer Testing*. 2017. V. 60. P. 321–325. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2017.02.026.
7. Yu F., Lu A., Lu J., Wang Z., Zhang Q., Geng C., Li Z. Effect of phenyl content, sample thickness and compression on damping performances of silicone rubber: A study by dynamic mechanical analysis and impact damping test. *Polymer Testing*. 2019. V. 80. P. 106101. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.106101.
8. Hejna A., Korol J., Przybysz-Romatowska M., Zedler Ł., Chmielnicki B., Formela K. Waste tire rubber as low-cost and environmentally-friendly modifier in thermoset polymers – A review. *Waste Management*. 2020. V. 108. P. 106–118. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.04.032.
9. Qin R., Huang R., Lu X. Use of gradient laminating to prepare NR/ENR composites with excellent damping performance. *Materials and Design*. 2018. V. 149. P. 43–50. DOI: 10.1016/j.matdes.2018.03.063.
10. Zhao X., Yang J., Zhao D., Lu Y., Wang W., Zhang L., Nishi T. Natural rubber/nitrile butadiene rubber/hindered phenol composites with high-damping properties. *International Journal of Smart and Nano Materials*. 2015. V. 6. N 4. P. 239–250. DOI: 10.1080/19475411.2015.1131399.
11. Strizhak E.A., Razdyakonova G.I., Maratkanova E.A., Buryan Yu.A., Adyaeva L.V., Avreytsevich N.V., Mitryaeva N.S. The role of rubber polarity in the formation of hysteresis properties of rubber under conditions of harmonic dynamic stress. *Omskiy nauch. vestnik*. 2013. N 3 (123). P. 308–312. (in Russian).
12. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Research of operational and dynamic properties of rubber for products working in sea water. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 11. P. 96–102. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.
13. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I., Voronchikhin V.D. Investigation of the dynamic properties of seawater-resistant rubber. *J. Sib. Fed. Univ. Chem.* 2021.

14. 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/RJ.2023673.2.
15. Sheng Z., Yang S., Wang J., Lu Y., Tang K., Song S. Preparation and Properties Analysis of Chlorinated Butyl Rubber (CIIR)/Organic Diatomite Damping Composites. *Materials*. 2018. V. 11. N 11. P. 2172. DOI: 10.3390/ma11112172.
16. Zhou X.Q., Yu D.Y., Shao X.Y., Zhang S.Q., Wang S. Research and applications of viscoelastic vibration damping materials: A review. *Composite Structures*. 2016. V. 136. P. 460–480. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.10.014.
17. Amran M., Fediuk R., Murali G., Vatin N., Al-Fakih A. Sound-Absorbing Acoustic Concretes: A Review. *Sustainability*. 2021. V. 13. N 19. P. 10712. DOI: 10.3390/su131910712.
18. Valentini L., Lopez-Manchado M.A. Conductive elastomer engineering in extreme environments. *High-Performance Elastomeric Materials Reinforced by Nano-Carbons*. 2020. P. 235–255. DOI: 10.1016/B978-0-12-816198-2.00010-4.
19. Широкова Е.С., Фомин С.В., Морозова З.А., Гринченко А.И., Бузник В.М. Новые термоэластопласты на основе ПВДФ/каучук СКФ-32: влияние состава на технологические и эксплуатационные свойства. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2024. Т. 67. Вып. 3. С. 111–118. DOI: 10.6060/ivkkt.20246703.6930.
20. Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Исследование влияния полимерных микросфер на свойства резины для гуммирования металлических поверхностей. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. № 4. С. 19–25. DOI: 10.6060/rcj.2022664.3.
21. Соловьева О.Ю., Ветошкин А.Б., Гудков С.В., Никитина Е.Л. Модификация композиций на основе поливинилхлорида и бутадиен-стирольного каучука соединениями с изоцианатными группами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 51–57. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6576.
22. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Разработка и исследование резиновой смеси для прокладок рельсовых креплений. *Рос. хим. журнал*. 2021. Т. 65. № 1. С. 56–61. DOI: 10.6060/rcj.2021651.6.
23. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Studying the Effect of trans-Polynorbornene on the Properties of a Rubber Mixture for Rail Fastener Pads. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2022. V. 13. N 4. P. 1019–1023. DOI: 10.1134/S2075113322040104.
24. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Григорьев В.С., Кольцов Н.И., Ворончихин В.Д. Исследование влияния кремнекислотного наполнителя Silica 1165 на свойства резины для прокладок рельсовых креплений. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия*. 2022. Т. 15. № 1. С. 110–117. DOI: 10.17516/1998-2836-0276.
25. Egorov E.N., Salomatina E.V., Vassilyev V.R., Bannov A.G., Sandalov S.I. Effect of Polynorbornene on Physico-Mechanical, Dynamic, and Dielectric Properties of Vulcanizates Based on Isoprene, α -Methylstyrene-Butadiene, and Nitrile-Butadiene Rubbers for Rail Fasteners Pads. *Journal of Composites Science*. 2023. V. 7(8). P. 334. DOI: 10.3390/jcs7080334.
26. Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Study of the influence of dispersed fillers on properties of rubber for gaskets of rail fastening. *Materials Physics and Mechanics*. 2023. V. 51(6). P. 119–126. DOI: 10.18149/MPM.5162023_11.
- V. 14. N 1. P. 38–44. (in Russian). DOI: 10.17516/1998-2836-0214.
14. 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. (in Russian). DOI: 10.6060/RJ.2023673.2.
15. Sheng Z., Yang S., Wang J., Lu Y., Tang K., Song S. Preparation and Properties Analysis of Chlorinated Butyl Rubber (CIIR)/Organic Diatomite Damping Composites. *Materials*. 2018. V. 11. N 11. P. 2172. DOI: 10.3390/ma11112172.
16. Zhou X.Q., Yu D.Y., Shao X.Y., Zhang S.Q., Wang S. Research and applications of viscoelastic vibration damping materials: A review. *Composite Structures*. 2016. V. 136. P. 460–480. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.10.014.
17. Amran M., Fediuk R., Murali G., Vatin N., Al-Fakih A. Sound-Absorbing Acoustic Concretes: A Review. *Sustainability*. 2021. V. 13. N 19. P. 10712. DOI: 10.3390/su131910712.
18. Valentini L., Lopez-Manchado M.A. Conductive elastomer engineering in extreme environments. *High-Performance Elastomeric Materials Reinforced by Nano-Carbons*. 2020. P. 235–255. DOI: 10.1016/B978-0-12-816198-2.00010-4.
19. Shirokova E.S., Fomin S.V., Morozova Z.A., Grinchenko A.I., Buznik V.M. Novel thermoplastic elastomers based on PVDF/SKF-32: effect of composition on technological and performance characteristics. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 3. P. 111–118. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20246703.6930.
20. Ushmarin N.F., Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Study influence of polymeric microspheres on properties rubber for gumbing of metal surfaces. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. 66. N 4. P. 19–25. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2022664.3.
21. Solovyeva O.Yu., Vetoshkin A.B., Gudkov S.V., Nikitina E.L. Modification of compositions based on polyvinylchloride and styrene butadiene rubber with compounds with isocyanate groups. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 51–57. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6576.
22. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Koltsov N.I. Development and research of a rubber compound for rail fasteners. *Ros. Khim. Zh.* 2021. V. 65. N 1. P. 56–61. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2021651.6.
23. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Studying the Effect of trans-Polynorbornene on the Properties of a Rubber Mixture for Rail Fastener Pads. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2022. V. 13. N 4. P. 1019–1023. DOI: 10.1134/S2075113322040104.
24. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Grigor'ev V.S., Kol'tsov N.I., Voronchikhin V.D. Study of the effect of silica filler Silica 1165 on the properties of rubber for rail fastening gaskets. *J. Sib. Fed. Univ. Chem.* 2022. V.15. N 1. P. 110–117. (in Russian). DOI: 10.17516/1998-2836-0276.
25. Egorov E.N., Salomatina E.V., Vassilyev V.R., Bannov A.G., Sandalov S.I. Effect of Polynorbornene on Physico-Mechanical, Dynamic, and Dielectric Properties of Vulcanizates Based on Isoprene, α -Methylstyrene-Butadiene, and Nitrile-Butadiene Rubbers for Rail Fasteners Pads. *Journal of Composites Science*. 2023. V. 7. N 8. P. 334. DOI: 10.3390/jcs7080334.
26. Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Study of the influence of dispersed fillers on properties of rubber for gaskets of rail fastening. *Materials Physics and Mechanics*. 2023. V. 51(6). P. 119–126. DOI: 10.18149/MPM.5162023_11.

Поступила в редакцию (Received) 13.04.2025

Принята к опубликованию (Accepted) 17.07.2025