

ВЛИЯНИЕ ХЛОРБУТИЛКАУЧУКА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.Ф. Ушмарин¹, Е.Н. Егоров², В.С. Григорьев², С.И. Сандалов¹, Н.И. Кольцов²

¹Акционерное общество “Чебоксарское производственное объединение им. В.И. Чапаева”, Социалистическая, 1, Чебоксары, Российская Федерация, 428006

E-mail: ushmarin@mail.ru, sandalov-1963@yandex.ru

²Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Кафедра физической химии и высокомолекулярных соединений, пр. Московский, 15, Чебоксары, Российская Федерация, 428015

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

В статье исследовано влияние хлорбутилкаучука марки ХБК-139 на реометрические свойства резиновой смеси, физико-механические и динамические показатели резины на основе бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК и изопренового СКИ-3 каучуков. Изучаемая резиновая смесь на основе каучуков СКМС-30АРК и СКИ-3 содержала серу, 2,2'-дибензтиазолдисульфид, гуанид Ф, белила цинковые, стеариновую кислоту, N-изопропил-N'-фенил-N-фенилендиамин, N-циклогексилтиофталимид, канифоль, масло индустриальное И-12А, технический углерод П 324, транс-полинолборнен. Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Пласто-эластические свойства резиновой смеси изучали на вискозиметре MV 3000 Basic фирмы «Mon Tech» при 120 °С. Вулканизационные параметры 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. Динамические параметры (модуль упругости и тангенс угла механических потерь) вулканизатов различных вариантов резиновой смеси изучали при комнатной температуре на динамическом механическом анализаторе Metravib VHF 104 при степени деформации 0,01 % и частоте колебаний 1000 Гц. Показано, что вулканизаты, содержащие комбинации всех трех каучуков, характеризуются удовлетворительными деформационно-прочностными свойствами. Установлено, что частичная замена каучуков СКМС-30 АРК и СКИ-3 на хлорбутилкаучук ХБК-139 приводит к увеличению модуля упругости и тангенса угла механических потерь резины. Резина, содержащая 50,00 мас. ч. СКМС-30АРК, 20 мас. ч. СКИ-3 и 30,00 мас. ч. ХБК-139 характеризуется лучшими звукопоглощающими свойствами.

Ключевые слова: бутадиен-метилстирольный и изопреновый каучуки, хлорбутилкаучук, резина, пласто-эластические, реометрические, деформационно-прочностные и динамические свойства

INFLUENCE OF CHLOROBUTYL CAOUTCHOUC ON DYNAMIC PROPERTIES OF RUBBER BASED ON GENERAL PURPOSE CAOUTCHOUCS

N.F. Ushmarin¹, E.N. Egorov², V.S. Grigoriev², S.I. Sandalov¹, N.I. Kol'tsov²

¹The Joint Stock Company “Cheboksary Production Association named after V.I. Chapayev”, Socialist, 1, Cheboksary, Russian Federation, 428006

E-mail: ushmarin@mail.ru, sandalov-1963@yandex.ru

²Department of Physical Chemistry and Macromolecular Compounds, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Moskovskiy ave., 15, Cheboksary, Russian Federation, 428015

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

The article investigates the influence of chlorobutyl caoutchouc KhBK-139 brand on the plasto-elastic, rheometric properties of the rubber mixture, the physical-mechanical and dynamic characteristics of rubber based on butadiene-methylstyrene SKMS-30ARK and isoprene SKI-3 caoutchoucs. The studied rubber mixture based on caoutchoucs SKMS-30ARK and SKI-3 contained sulfur, 2,2'-dibenzthiazole disulfide, guanide F, zinc white, stearic acid, N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine, N-cyclohexylthiophthalimide, rosin, industrial oil I-12A, carbon black P 324, trans-polynorbornene. The rubber mixture was prepared on laboratory rolls LB 320 160/160. Plasto-elastic properties of the rubber compound were studied on a Mon Tech MV 3000 Basic viscometer at 120 °C. The vulcanization parameters of the rubber compound were investigated on a Mon Tech MDR 3000 Basic rheometer at 150 °C for 30 minutes in accordance with ASTM D2084-79. Standard samples for determining physical and mechanical properties were vulcanized at a temperature of 150 °C for 30 min in a vulcanization press of the P-V-100-3RT-2-PCD type. The main characteristics of the vulcanizates were determined according to the standards in force in the rubber industry. The dynamic parameters (storage modulus and $\tan \delta$) of vulcanizates of various variants of the rubber mixture were studied at room temperature on a dynamic mechanical analyzer Metravib VHF 104 at a strain rate of 0.01% and a vibration frequency of 1000 Hz. It is shown that vulcanizates containing combinations of all three caoutchoucs are characterized by satisfactory deformation and strength properties. Partial replacement of SKMS-30 ARK and SKI-3 caoutchoucs with chlorobutyl caoutchouc KhBK-139 leads to an increase in the elastic modulus and the tangent of the angle of mechanical losses of the rubber. Rubber containing 50.00 wt.h. SKMS-30ARK, 20 wt.h. SKI-3 and 30.00 wt.h. KhBK-139 is characterized by the best sound insulation properties.

Key words: butadiene-methylstyrene and isoprene caoutchoucs, chlorobutyl caoutchouc, rubber, plasto-elastic, rheometric, deformation-strength and dynamic properties

Для цитирования:

Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Григорьев В.С., Сандалов 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. LXVI. № 1. С. 29–34

For citation:

Ushmarin N.F., Egorov E.N., Grigoriev V.S., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Influence of chlorobutyl caoutchouc on dynamic properties of rubber based on general purpose caoutchoucs. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. LXVI. N 1. P. 29–34

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальным направлением в производстве резинотехнических изделий является получение резин с высокими физико-механическими и звукопоглощающими свойствами [1-8]. Звукопоглощение – это мера количества энергии, удаляемой из звуковой волны при её прохождении через материал [9-13]. При распространении из воздуха в поглощающий полимерный материал звуковая волна может отражаться или поглощаться, тем самым теряя энергию и испытывая демпфирующие эффекты [14-16]. В работах [17-19] показана возможность повышения звукопоглощающих свойств резин, содержащих *транс*-полиноборнен. В работе [20] показано, что использование каучуков разной полярности (полярного бутадиеннитрильного БНКС-28АН и неполярного бутилкаучука БК-1675) приводит к возрастанию динамических параметров резин. В связи с этим целью работы являлось исследование влияния полярного

хлорбутилкаучука ХБК-139 на динамические свойства резины на основе неполярных каучуков общего назначения (бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК и изопренового СКИ-3) с серной вулканизирующей системой.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Резиновая смесь на основе каучуков СКМС-30АРК и СКИ-3 содержала следующие ингредиенты: вулканизирующий агент – сера; ускорители вулканизации – 2,2'-дибензтиазолдисульфид, гуанид Ф; активаторы вулканизации – белила цинковые, стеариновая кислота; противостаритель – N-изопропил-N'-фенил-*n*-фенилендиамин; замедлитель подвулканизации – N-циклогексилтиофталимид; мягчители – канифоль и масло индустриальное И-12А; наполнители – технический углерод П 324 и *транс*-полиноборнен.

Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при 60-70 °С в течение 15 мин. Пласто-эластические свойства резиновой

смеси изучали на вискозиметре MV 3000 Basic при температуре 120 °С. Вулканизационные 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; эластичность по отскоку – по ГОСТ 27110-86; сопротивление раздиру – по ГОСТ 262-79. Ди-

намические параметры (модуль упругости, тангенс угла механических потерь) вулканизатов различных вариантов резиновой смеси изучали при комнатной температуре на динамическом механическом анализаторе Metravib VHF 104 при степени деформации 0,01% и частоте 1000 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами исследовалась возможность частичной замены каучуков СКМС–30 АРК и СКИ-3 на хлорбутилкаучук ХБК-139. Исследованные варианты резиновой смеси, их пласто-эластические, реометрические показатели, деформационно-прочностные и динамические свойства вулканизатов приведены в таблице.

Таблица

Варианты и свойства резиновой смеси и вулканизатов

Ингредиенты	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
СКМС–30 АРК, мас.ч.	70,00	60,00	70,00	60,00	70,00	50,00	50,00
СКИ-3, мас.ч.	30,00	30,00	-	20,00	20,00	30,00	20,00
ХБК-139 мас.ч.	-	10,00	30,00	20,00	10,00	20,00	30,00
Пласто-эластические показатели резиновой смеси							
M_{max} , ед. Муни	53,53	55,08	59,25	56,08	73,23	71,46	69,68
M_{min} , ед. Муни	23,51	24,08	29,24	26,06	43,23	41,45	39,67
t	37,63	36,82	36,40	35,94	31,92	26,52	30,97
t	51,10	50,36	49,56	48,74	47,96	37,99	46,40
Реометрические показатели резиновой смеси							
S_{max} , дН·м	10,95	10,09	8,91	9,52	10,20	10,12	8,98
S_{min} , дН·м	0,84	0,87	1,00	0,91	1,15	1,12	0,95
t_s , мин	8,02	7,72	7,80	7,84	7,34	6,24	7,19
t	22,30	22,59	24,11	22,98	24,13	23,01	24,08
Деформационно-прочностные свойства вулканизатов							
f_p , МПа	10,6	9,4	8,7	9,1	10,4	9,3	8,9
ϵ_p , %	450	450	410	380	450	400	390
H , ед. Шор А	57	57	57	58	59	58	58
S , %	48	44	28	36	44	34	32
B , кН/м	21	17	15	14	20	18	16
Динамические свойства вулканизатов при частоте 1000 Гц и комнатной температуре							
$E \cdot 10^{-7}$, Па	0,82	0,78	1,04	0,94	1,14	1,05	1,19
$tg \delta$	0,203	0,272	0,378	0,344	0,267	0,287	0,382

Примечание: M_{max} и M_{min} – максимальная и минимальная вязкости; t_5 и t_{35} – времена начала и оптимума подвулканизации; 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; S – эластичность по отскоку; B – сопротивление раздиру; E – модуль упругости; $tg \delta$ – тангенс угла механических потерь.

Первый вариант резиновой смеси не содержал хлорбутилкаучук ХБК-139. Второй - седьмой варианты содержали соответственно 10,00; 30,00; 20,00; 10,00; 20,00; 30,00 мас.ч. хлорбутилкаучука.

На рис. 1 представлены кривые изменения вязкости различных вариантов резиновой смеси, снятые при температуре 120 °С.

В таблице приведены следующие из рис. 1 значения показателей вязкости и времен подвулканизации для различных вариантов резиновой смеси. Как видно, по сравнению с базовым вариантом частичная замена каучуков СКМС–30 АРК и СКИ-3 на хлорбутилкаучук ХБК-139 приводит к

увеличению максимальной и минимальной вязкости резиновой смеси и уменьшению времен начала и конца подвулканизации. При этом скорость подвулканизации резиновой смеси, определяемая разностью $t_{35} - t_5$, практически одинакова для всех вариантов.

На рис. 2 приведены полученные реометрические кривые, а в таблице – следующие из них значения реометрических показателей для различных вариантов резиновой смеси.

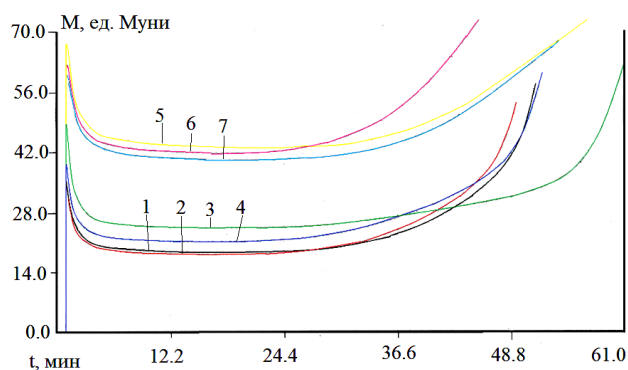


Рис. 1. Изменения вязкости резиновой смеси во времени при 120 °C (номера кривых соответствуют номерам вариантов)

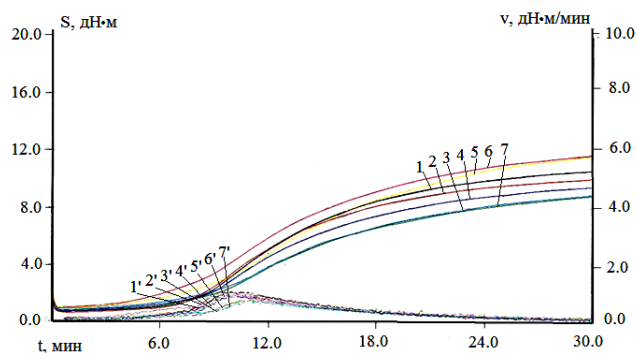


Рис. 2. Реометрические кривые резиновой смеси (номера кривых соответствуют номерам вариантов): 1-7 – зависимости крутящего момента от времени; 1'-7' – зависимости скорости вулканизации от времени

Как видно, введение хлорбутилкаучука ХБК-139 в резиновую смесь способствует уменьшению максимального крутящего момента и времени начала вулканизации. При этом минимальный крутящий момент и оптимальное время вулканизации возрастают, а разность максимального и минимального крутящих моментов незначительно меняется, достигая минимального значения для третьего варианта резиновой смеси, что должно привести к понижению прочностных свойств резины на основе этого варианта.

Из таблицы следует, что деформационно-прочностные свойства вулканизатов 2-4, 6 и 7 вариантов резиновой смеси, в которых проведена частичная замена каучуков СКМС-30 АРК и СКИ-3 на хлорбутилкаучук ХБК-139, убывают по сравнению с вулканизатом 1 варианта резиновой смеси. Эти результаты согласуются с данными [21], показывающими более высокие деформационно-прочностные свойства резин на основе неполярных каучуков по сравнению с резинами на основе полярных каучуков с серной системой вулканизации. Вулканизат 3 варианта резиновой смеси, для которой разность максимального и минимального крутящих моментов минимальна, обладает наименьшими прочностными свойствами, что и следовало ожидать, согласно [22]. Вулканизат 5 варианта резиновой смеси отличается от 1 варианта незначительным содержанием каучука ХБК-139 и поэтому их прочностные свойства близки.

Из динамических свойств вулканизатов следует, что частичная замена каучуков СКМС-30 АРК и СКИ-3 на хлорбутилкаучук ХБК-139 приводит к увеличению модуля упругости и тангенса угла механических потерь резины. Причем наибольшими их значениями обладает вулканизат 7 варианта резиновой смеси, что свидетельствует о хороших звукопоглощающих свойствах данной резины.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенных исследований по изучению влияния хлорбутилкаучука ХБК-139 на свойства резины на основе бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК и изопренового СКИ-3 каучуков показано, что вулканизаты на основе комбинации этих каучуков характеризуются удовлетворительными упруго-прочностными свойствами. Установлено, что резина, включающая 50,0 мас. ч. СКМС-30АРК, 20, 0 мас. ч. СКИ-3 и 30,0 мас. ч. ХБК-139 каучуков, обладает улучшенными динамическими показателями (тангенса угла механических потерь и модуля упругости), а, следовательно, хорошими вибро- и звукопоглощающими свойствами.

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

REFERENCES

1. Радоуцкий В.Ю., Шульженко В.Н. Характеристика звукоизоляционных строительных материалов. Вест. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 64-66.
2. Tomyangkul S., Pongmuksuwan P., Harnnarongchai W., Chaochanchaikul K. Enhancing sound absorption properties of open-cell natural rubber foams with treated bagasse and oil palm fibers. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2016. V. 35. N 8. P. 688-697. DOI: 10.1177/0731684415627295.
3. Wang K., Yan X. Performance analysis of ethylene-propylene diene monomer sound-absorbing materials based on image processing recognition. 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. Preparation and Sound Absorption Properties of a Barium Titanate/Nitrile Butadiene Rubber-Polyurethane Foam Composite with Multi-layered Structure. 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. Structural Design and Sound Absorption Properties of Nitrile Butadiene Rubber-Polyurethane Foam Composites with Stratified Structure. Polymers. 2018. V. 10. N 9. P. 946. DOI: 10.3390/polym10090946.
6. Liu C., Fan J., Chen Y. Design of regulable chlorobutyl rubber damping materials with high-damping value for a wide temperature range. Polymer Testing. 2019. V. 79. P. 106003. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.106003.
7. Pöschl M., Vašina M., Zádrapa P., Měřinská D., Žaludek M. Study of Carbon Black Types in SBR Rubber: Mechanical and Vibration Damping Properties. 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. Скучик Е. Основы акустики / Пер. с англ., под ред. Л.М. Лямшева. М: Мир. Т. 2. 1976. 542 с.
10. Cha S.N., Seo J.-S., Kim S.M., Kim H.J., Park Y.J., Kim S.-W., Kim J.M. Sound-Driven Piezoelectric Nanowire-Based Nanogenerators. Advanced Materials. 2010. V. 22. N 42. P. 4726-4730. DOI: 10.1002/adma.201001169.
11. Berardi U., Iannace G. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. Building and Environment. 2015. V. 94 P. 840-852. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.05.029.
12. Fatima S., Mohanty A.R. Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. Applied Acoustics, 2011. V. 72. N 2-3. P. 108-114. DOI: 10.1016/j.apacoust.2010.10.005.
13. Schiavoni S., D'Alessandro F., Bianchi F., Asdrubali F. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. V. 62. P. 988-1011. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.045.
14. Справочник по акустике / В.К. Иофе, В.Г. Корольков, М.А. Сапожков / Под общ. ред. М.А. Сапожкова. М: Связь. 1979. 312 с.
15. 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.
1. Radoutsky V.Yu., Shulzhenko V.N. Characteristics of soundproof building materials. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta imeni V.G. Shukhova. 2016. N 5. P. 64-66 (in Russian).
2. Tomyangkul S., Pongmuksuwan P., Harnnarongchai W., Chaochanchaikul K. Enhancing sound absorption properties of open-cell natural rubber foams with treated bagasse and oil palm fibers. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2016. V. 35. N 8. P. 688-697. DOI: 10.1177/0731684415627295.
3. Wang K., Yan X. Performance analysis of ethylene-propylene diene monomer sound-absorbing materials based on image processing recognition. 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. Preparation and Sound Absorption Properties of a Barium Titanate/Nitrile Butadiene Rubber-Polyurethane Foam Composite with Multi-layered Structure. 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. Structural Design and Sound Absorption Properties of Nitrile Butadiene Rubber-Polyurethane Foam Composites with Stratified Structure. Polymers. 2018. V. 10. N 9. P. 946. DOI: 10.3390/polym10090946.
6. Liu C., Fan J., Chen Y. Design of regulable chlorobutyl rubber damping materials with high-damping value for a wide temperature range. Polymer Testing. 2019. V. 79. P. 106003. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.106003.
7. Pöschl M., Vašina M., Zádrapa P., Měřinská D., Žaludek M. Study of Carbon Black Types in SBR Rubber: Mechanical and Vibration Damping Properties. 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. Skushik E. Fundamentals of Acoustics / Translated from English, edited by L.M. Lyamshev. M: Mir. Vol. 2. 1976. 542 p (in Russian).
10. Cha S.N., Seo J.-S., Kim S.M., Kim H.J., Park Y.J., Kim S.-W., Kim J.M. Sound-Driven Piezoelectric Nanowire-Based Nanogenerators. Advanced Materials. 2010. V. 22. N 42. P. 4726-4730. DOI: 10.1002/adma.201001169.
11. Berardi U., Iannace G. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. Building and Environment. 2015. V. 94 P. 840-852. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.05.029.
12. Fatima S., Mohanty A.R. Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. Applied Acoustics, 2011. V. 72. N 2-3. P. 108-114. DOI: 10.1016/j.apacoust.2010.10.005.
13. Schiavoni S., D'Alessandro F., Bianchi F., Asdrubali F. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. V. 62. P. 988-1011. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.045.
14. Handbook of Acoustics / V. K. Ioffe, V. G. Korolkov, M. A. Sapozhkov / Under the general editorship of M.A. Sapozhkov. M: Svyaz'. 1979. 312 p (in Russian).
15. 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.

16. 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.
17. 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. № 11. С. 96-102. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.
18. 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.
19. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Разработка и исследование резиновой смеси для прокладок рельсовых креплений. *Российский химический журнал*. 2021. Т. 65. № 1. С. 56-61. DOI: 10.6060/rcj.2021651.6.
20. Стрижак Е.А., Раздьяконова Г.И., Маратканова Е.А., Бурьян Ю.А., Адяева Л.В., Аврейтевич 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.
21. Большой справочник резинщика. Ч. 1. Каучуки и ингредиенты / Под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ». 2012. 744 с.
22. Mohamad Aini N., Othman N., Hussin M., Sahakaro K., Hajeemasae N. Hydroxymethylation-Modified Lignin and Its Effectiveness as a Filler in Rubber Composites. *Processes*. 2019. V. 7. N 5. P. 315. DOI: 10.3390/pr7050315.
16. 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.
17. 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. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.
18. 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. V. 14. N 1. P. 38-44. DOI: 10.17516/1998-2836-0214.
19. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Development and research of rubber mixture for the manufacture of rail fastener gaskets. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2021. V. 65. N 1. P. 56-61. DOI: 10.6060/rcj.2021651.6 (in Russian).
20. Strizhak E.A., Razd'yakonova G.I., Maratkanova Ye.A., Bur'yan Yu.A., Adyayeva L.V., Avreytsevich N.V., Mitryayeva N.S. The role of rubber polarity in the formation of the hysteresis properties of rubbers under conditions of harmonic dynamic stress. *Omskiy nauchnyy vestnik*. 2013. N 3 (123). P. 308-312 (in Russian).
21. Great reference of rubberman. Part 1. Caoutchoucs and ingredients. Ed. by S.V. Reznichenko, Yu.L. Morozova. M.: ООО «Izd. tsentr «Tekhinform» MAI». 2012. 744 p (in Russian).
22. Mohamad Aini N., Othman N., Hussin M., Sahakaro K., Hajeemasae N. Hydroxymethylation-Modified Lignin and Its Effectiveness as a Filler in Rubber Composites. *Processes*. 2019. V. 7. N 5. P. 315. DOI: 10.3390/pr7050315.

Поступила в редакцию (Received) 26.11.2021
Принята к опубликованию (Accepted) 27.12.2021