

УДК 678.046

**Ж. С. Шашок¹, Е. П. Усс¹, О. А. Кротова¹, А. В. Лешкевич¹,
С. Н. Каюшников², А. Ю. Люштык²**

¹Белорусский государственный технологический университет

²ОАО «Белшина»

ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ КОМБИНАЦИИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Определены технические свойства шинных резин, содержащих комбинацию технического углерода и кремнекислотного наполнителя. В качестве объектов исследования использованы эластомерные композиции на основе натурального каучука, содержащие высокоусиливающий технический углерод марки N347 и кремнекислотный наполнитель марки Perkasil-408. В рецептурах проводилась частичная замена 10,0 и 20,0 мас. ч. технического углерода на минеральный наполнитель при неизменном остальном составе резиновой смеси. Установлено, что введение кремнекислотного наполнителя приводит к получению эластомерных композиций с повышенной стойкостью к тепловому старению. При этом вулканизаты с 10,0 мас. ч. кремнекислотного наполнителя в меньшей степени подвержены воздействию повышенной температуры и кислорода воздуха по сравнению с другими резинами (изменение показателя прочности при растяжении резин с указанной дозировкой кремнезема составляет (–13%); относительного удлинения при разрыве (–12%), а для других исследуемых резин изменение показателя прочности при растяжении составляет (–17%) и (–15%), а изменение относительного удлинения при разрыве – (–22%) и (–19%). Частичная замена высокоусиливающего технического углерода на минеральный наполнитель Perkasil-408 повышает усталостную выносливость резин при многократном растяжении на 8,6–23,9%, а сопротивление разрастанию трещин в 2,08–2,26 раза. Выявленные особенности технических свойств резин обусловлены их особенностями пространственной структуры.

Ключевые слова: резина, наполнитель, технический углерод, кремнекислотный наполнитель, прочность, удлинение, усталостная выносливость.

Для цитирования: Шашок Ж. С., Усс Е. П., Кротова О. А., Лешкевич А. В., Каюшников С. Н., Люштык А. Ю. Технические свойства эластомерных композиций, содержащих комбинации наполнителей // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 1 (277). С. 55–60.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-7.

**Zh. S. Shashok¹, E. P. Uss¹, O. A. Krotova¹, A. V. Leshkevich¹,
S. N. Kayushnikov², A. Yu. Lyushtyk²**

¹Belarusian State Technological University

²JSC “Belshina”

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF ELASTOMER COMPOSITIONS CONTAINING FILLER COMBINATIONS

The technical properties of tire rubber containing a combination of carbon black and silica filler have been determined. The objects of study were elastomeric compositions based on natural rubber, containing high-reinforcement carbon black type N347 and silica filler type Perkasil-408. In the recipes, a partial replacement of 10.0 and 20.0 phr including carbon black for mineral filler with the rest of the composition of the rubber mixture unchanged. It has been established that the introduction of silica filler leads to the production of elastomeric compositions with increased resistance to heat aging. At the same time, vulcanizates with 10.0 phr by weight of silica are less susceptible to elevated temperatures and atmospheric oxygen compared to other rubbers (the change in the tensile strength of rubbers with the specified dosage of silica is (–13%); elongation at break (–12%), and for other rubbers studied, the change in tensile strength is (–17%) and (–15%), and the change in elongation at break is (–22%) and (–19%). Partial replacement of high-strengthening carbon black with the mineral filler Perkasil-408 increases the fatigue endurance of rubber under repeated stretching by 8.6–23.9%, and the resistance to crack propagation by 2.08–2.26 times. The identified features of the technical properties of rubber are due to their peculiarities of the spatial structure.

Keywords: rubber, filler, carbon black, silica filler, strength, elongation, fatigue endurance.

For citation: Shashok Zh. S., Uss E. P., Krotova O. A., Leshkevich A. V., Kayushnikov S. N., Lyushtyk A. Yu. Investigation of the properties of elastomer compositions containing filler combinations. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 1 (277), pp. 55–60 (In Russian).

DOI: 1052065/2520-2669-2024-277-7.

Введение. В эластомерных композициях различного назначения наиболее часто используются технический углерод и кремнекислотный наполнитель (ККН). Технический углерод способствует повышению прочности резин и их износостойкости, но вулканизаты с ним характеризуются высоким внутренним трением. В случае применения кремнезема внутреннее трение резин уменьшается, но при этом необходимо обеспечивать достаточную механическую прочность вулканизатов. В связи с этим при практическом использовании указанные два вида наполнителей часто вводятся в каучук вместе [1]. Комбинация диоксида кремния и технического углерода в составе резиновых смесей позволяет объединить преимущества каждого наполнителя [2]. Однако из-за плохой совместимости кремнезема и углеводорода каучука [3–5] с целью улучшения их взаимодействия разработаны основные направления, включающие использование связующего агента [6–8], поверхностную модификацию наполнителя [9–10] и химическую модификацию каучука [11, 12].

Эластомерная композиция, содержащая комбинацию наполнителей, характеризуется низким гистерезисом, хорошим сцеплением с мокрой дорогой, низким сопротивлением качению, что особенно важно для шинных протекторных резин [13–15].

Основная часть. Цель работы – определить влияние на технические свойства вулканизатов частичной замены технического углерода кремнекислотным наполнителем.

Объектом исследования являлись эластомерные композиции на основе натурального каучука, предназначенные для изготовления протекторных резин. В составе резиновой смеси использовался высокоусиливающий технический углерод марки N347 и кремнекислотный наполнитель марки Perkasil-408. В композициях с

ККН вводился каплинг-агент бис(3-триэтоксисилилпропил)тетрасульфид (TESPT).

Упруго-прочностные характеристики образцов измеряли на разрывной машине Тензомер Т 220 DC согласно ГОСТ 270–75 [16]. Стойкость образцов к термическому старению в среде воздуха оценивали по изменению относительного удлинения при разрыве и условной прочности при растяжении после выдержки их в термостате при температуре 120°C в течение 16 ч, испытание проводили в соответствии с ГОСТ ISO 188–2013 [17].

Динамические свойства исследуемых резин оценивали по показателям усталостной выносливости резин при многократном растяжении в соответствии с ГОСТ 261–79 [18] и сопротивления разрастанию трещин при знакопеременном изгибе в соответствии с ГОСТ 9983–74 [19].

В процессе эксплуатации шины происходит ее разогрев, обусловленный внутренним трением и воздействием внешней среды.

Свойства резин изменяются во времени при температуре окружающей среды или изменяются с большей скоростью под действием тепла. Испытания на тепловое старение позволяют оценить изменение физических свойств вулканизатов при повышенных температурах, которые могут быть близки к температурам эксплуатации изделия [20].

В табл. 1 приведены результаты определения упруго-прочностных свойств исследуемых резин до и после теплового старения. Из представленных данных видно, что частичная замена высокоусиливающего технического углерода на кремнекислотный наполнитель позволяет получать резины, характеризующиеся более высокими показателями упруго-прочностных свойств до и после теплового старения. Следует отметить, что резины с 20,0 мас. ч. Perkasil-408 имеют наибольшие значения показателя прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве.

Таблица 1

Упруго-прочностные показатели исследуемых резин

Наполнитель	Показатели					
	Прочность при растяжении, МПа		Относительное удлинение при разрыве, %		Изменение показателя прочности при растяжении, %	Изменение показателя относительного удлинения при разрыве, %
	до теплового старения	после теплового старения	до теплового старения	после теплового старения		
44 мас. ч. N347	25,5	21,1	500	390	–17	–22
34 мас. ч. N347 + 10 мас. ч. Perkasil-408	26,0	22,7	500	440	–13	–12
24 мас. ч. N347 + 20 мас. ч. Perkasil-408	27,1	23,0	580	470	–15	–19

Сравнительный анализ показателей изменения основных упруго-прочностных свойств после теплового старения продемонстрировал, что вулканизаты с 10,0 мас. ч. ККН в меньшей степени подвержены воздействию повышенной температуры и кислорода воздуха по сравнению с другими резинами. В данном случае для резины с указанной дозировкой кремнекислотного наполнителя изменение показателя прочности при растяжении составляет (–13%), а относительного удлинения при разрыве (–12%). В то же время для других исследуемых резин изменение показателя прочности при растяжении составляет (–17%) и (–15%), а изменение относительного удлинения при разрыве – (–22%) и (–19%). Выявленный характер изменения стойкости резин к тепловому старению обусловлен различиями пространственной структуры резин, формируемой в процессе вулканизации, а именно плотностью поперечного сшивания и природой поперечных связей [21].

Большинство резиновых изделий, в том числе и шины, в процессе эксплуатации испытывают многократные деформации – изгиб, растяжение, сдвиг, сжатие, а также совместное их действие. При отсутствии других видов воздействия циклические нагрузки могут приводить к усталостному разрушению резин [22]. Главной причиной разрушения резиновых изделий является разрастание трещин. Рост трещин под действием циклической нагрузки вызывает снижение усталостной выносливости. Усталостные трещины образуются в зонах с повышенным напряжением [23].

В табл. 2 приведены результаты исследования динамических свойств резин с различными наполнителями.

Таблица 2
Динамические свойства исследуемых резин

Наполнитель	N, тыс. циклов		R, тыс. циклов
	до теплового старения	после теплового старения	
44,0 мас. ч. N347	57,50	49,25	98,1
34,0 мас. ч. N347 + + 10,0 мас. ч. Perkasil-408	68,50	53,50	222,0
24,0 мас. ч. N347 + + 20,0 мас. ч. Perkasil-408	71,25	55,25	204,0

Примечание. N – усталостная выносливость резин, тыс. циклов; R – сопротивление разрастанию трещин, тыс. циклов.

На основании полученных данных установлено, что частичная замена технического углерода кремнекислотным наполнителем позволяет повысить усталостную выносливость резин при

растяжении на 19,1–23,9% (при испытании образцов резин до теплового старения) и на 8,6–12,8% (при испытании образцов резин после теплового старения). Изменение свойств вулканизатов при действии многократных циклических деформаций растяжения может быть обусловлено снижением гистерезисных потерь за счет использования минерального наполнителя [21].

Несколько иной характер изменения динамических свойств резин выявлен при определении стойкости к разрастанию трещин при многократном изгибе. В данном случае показатель сопротивления разрастанию трещин при частичной замене технического углерода на кремнезем также увеличивается (в 2,26 и 2,08 раза), при этом наибольший показатель сопротивления разрастанию трещин имеет резина, в которой осуществлена замена 10,0 мас. ч. технического углерода на Perkasil-408.

Установленный характер изменения динамических свойств резин в случае применения комбинации наполнителей может быть обусловлен различиями структуры резины, формируемой при вулканизации. При этом существенное влияние на усталостную выносливость оказывает характер поперечных связей. Очевидно, чем жестче и короче поперечные связи в сетке, чем сильнее они препятствуют перемещению элементов сетки и выравниванию внутренних напряжений, возникающих при деформациях, тем вероятнее возникновение критических напряжений в отдельных узлах сетки, завершающихся разрывом связи и образованием дефекта в данном месте. Чем подвижнее поперечные связи, чем менее они жестки, тем выше работоспособность сетки [21].

Если многократная деформация осуществляется в одном направлении (многократное растяжение, сжатие и т. д.) с постоянной заданной амплитудой при невысоких температурах, то акты перестройки лабильных полисульфидных связей «приспосабливаются» к одноосной деформации и дополнительная сетка укрепляет исходную в направлении действия внешней силы, вызывающей деформацию. Если же нагружение производится в режиме знакопеременных деформаций (изгиб, кручение и т. д.) и при повышенных температурах, то лабильность полисульфидных связей скажется отрицательно на работоспособности резин.

Относительно более быстрая перестройка связей при повышенных температурах приведет к образованию дополнительной сетки при деформации в одном направлении, что препятствует деформации в другом направлении. Это создает условия для неблагоприятного перераспределения внутренних напряжений и разрушения сетки [21].

Выявленные различия динамических свойств резин при различных условиях деформации, вероятно, связаны с количественным содержанием поперечных связей различной сульфидности в объеме эластомерной матрицы, что позволяет определять наиболее приемлемые соотношения наполнителей в составе резиновых смесей, обеспечивающие высокие упруго-динамические показатели резин при воздействии многократных циклических деформаций.

Заключение. Таким образом, установлено, что частичная замена высокоусиливающего технического углерода на кремнекислотный наполнитель в протекторных резинах позволяет полу-

чать вулканизаты, характеризующиеся повышенной стойкостью к тепловому старению и воздействию многократных циклических деформаций. При этом наилучшим комплексом свойств обладает композиция, содержащая наименьшую дозировку (10 мас. ч.) кремнекислотного наполнителя. В данном случае стойкость к тепловому старению увеличивается 1,13–1,30 раз, а динамические свойства в 1,12–2,26 раза в зависимости от вида нагружения. Выявленные особенности технических свойств резин обусловлены особенностями их пространственной структуры, формируемой в процессе вулканизации.

Список литературы

1. Rubber-silica nanocomposites obtained by in situ solgel method: Particle shape influence on the filler-filler and filler-rubber interactions / R. Scotti [et al.] // *Soft Matter*. 2012. Vol. 8. P. 2131–2143. DOI: 10.1039/c1sm06716h.
2. Silica-Reinforced Natural Rubber: Synergistic Effects by Addition of Small Amounts of Secondary Fillers to Silica-Reinforced Natural Rubber Tire Tread Compounds / S. Sattayanurak [et al.] // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 2019. P. 1–8. DOI: 10.1155/2019/5891051.
3. Choi S. S., Park B. H., Song H. Influence of filler type and content on properties of styrene-butadiene rubber (SBR) compound reinforced with carbon black or silica // *Polymers for Advanced Technologies*. 2004. Vol. 15, no. 3. P. 122–127. DOI: 10.1002/pat.421.
4. Effect of filler concentration on the physico-mechanical properties of super abrasion furnace black and silica loaded styrene butadiene rubber / H. H. Hassan [et al.] // *Materials & Design*. 2012. Vol. 34. P. 533–540. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.05.005.
5. Каблов В. Ф., Аксёнов В. И. Современные тенденции применения каучуков и наполнителей в рецептуре резин // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2018. № 3. С. 24–34. DOI: 10.24411/2071-8268-2018-10305.
6. Comparison of structure and properties of two styrene-butadiene rubbers filled with carbon black, carbon-silica dual-phase filler, and silica / J. H. Ma [et al.] // *Rubber Chemistry and Technology*. 2013. Vol. 86, no. 4. P. 664–678. DOI: 10.5254/rct.13.87956.
7. Synergistic effect of carbon black and carbon-silica dual phase filler in natural rubber matrix / X. Xiong [et al.] // *Polymer Composites*. 2014. Vol. 35, no. 8. P. 1466–1472. DOI: 10.1002/pc.22800.
8. Impacts of filler covalent and non-covalent modification on the network structure and mechanical properties of carbon-silica dual phase filler/natural rubber / J. Y. Wang [et al.] // *Polymers for Advanced Technologies*. 2015. Vol. 26, no. 9. P. 1168–1175. DOI: 10.1002/pat.3550.
9. Shanmugaraj A. M., Bhowmick A. K. Rheological properties of styrene-butadiene rubber filled with electron beam modified surface treated dual phase fillers // *Radiation Physics and Chemistry*. 2004. Vol. 69, no. 1. P. 91–98. DOI: 10.1016/S0969-806X(03)00331-1.
10. The mechanism of carbon-silica dual phase filler modified by ionic liquid and its reinforcing on natural rubber / J. Y. Wang [et al.] // *Polymer Composites*. 2015. Vol. 36, no. 9. P. 1721–1730. DOI: 10.1002/pc.23083.
11. Zaeimoedin T. Z., Kamal M. M. Processability behaviour of dual filler systems reinforced epoxised natural rubber // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 974. P. 195–198. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.974.195.
12. Properties of epoxidized natural rubber tread compound: The hybrid reinforcing effect of silica and silane system / S. S. Sarkawi [et al.] // *Polymers and Polymer Composites*. 2016. Vol. 24, no. 9. P. 775–782. DOI: 10.1177/096739111602400914.
13. Correlation of filler networking with reinforcement and dynamical properties of SSBR/carbon black/silica composites / W. J. Feng [et al.] // *Rubber Chemistry and Technology*. 2015. Vol. 88, no. 4. P. 676–689. DOI: 10.5254/rct.15.84881.
14. Natural rubber based composites comprising different types of carbon-silica hybrid fillers. comparative study on their electric, dielectric and microwave properties, and possible applications / A. A. Al-Ghamdi [et al.] // *Materials Sciences and Applications*. 2016. Vol. 7, no. 6. P. 295–306. DOI: 10.4236/msa.2016.76027.
15. Analysis of effect of modification of silica and carbon black co-filled rubber composite on mechanical properties / X. Wang [et al.] // *e-Polymers*. 2021. Vol. 21, no. 1. P. 279–288. DOI: 10.1515/epoly-2021-0034.

16. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении: ГОСТ 270–75. М.: Стандартиформ, 1975. 29 с.
17. Резина и термоэластопласты. Испытания на ускоренное старение и теплостойкость: ISO 188–2013. М.: Стандартиформ, 2014. 24 с.
18. Резина. Методы определения усталостной выносливости при многократном растяжении: ГОСТ 261–79. М.: Стандартиформ, 1979. 25 с.
19. Резина. Методы испытаний на многократный продольный изгиб образцов с прямой канавкой: ГОСТ 9983–74. М.: Стандартиформ, 1974. 8 с.
20. Дик Дж. С. Технология резины: рецептуростроение и испытания. СПб.: НОТ, 2010. 620 с.
21. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.
22. Резниченко С. В., Морозова Ю. Л. Большой справочник резинщика: в 2 ч. М.: Техинформ, 2012. Ч. 1: Каучуки и ингредиенты. 744 с.
23. Марк Дж., Эрман Б., Эйрич Ф. Каучук и резина. Наука и технология. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 768 с.

References

1. Scotti R., Wahba L., Crippa M. Rubber-silica nanocomposites obtained by in situ sol-gel method: Particle shape influence on the filler-filler and filler-rubber interactions. *Soft Matter*, 2012, vol. 8, pp. 2131–2143. DOI: 10.1039/c1sm06716h.
2. Sattayanurak S., Noordermeer J., Sahakaro K., Kaewsakul W. Silica-Reinforced Natural Rubber: Synergistic Effects by Addition of Small Amounts of Secondary Fillers to Silica-Reinforced Natural Rubber Tire Tread Compounds. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 2019, pp. 1–8. DOI: 10.1155/2019/5891051.
3. Choi S. S., Park B. H., Song H. Influence of filler type and content on properties of styrene-butadiene rubber (SBR) compound reinforced with carbon black or silica. *Polymers for Advanced Technologies*, 2004, vol. 15, no. 3, pp. 122–127. DOI: 10.1002/pat.421.
4. Hassan H. H., Ateia E. E., Darwish N. A., Halim S. Effect of filler concentration on the physico-mechanical properties of super abrasion furnace black and silica loaded styrene butadiene rubber. *Materials & Design*, 2012, vol. 34, pp. 533–540. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.05.005.
5. Kablov V. F., Aksenov V. I. Modern trends in the use of rubbers and fillers in rubber formulations. *Promyshlennoye proizvodstvo i ispol'zovaniye elastomerov* [Industrial production and use of elastomers], 2018, no. 3, pp. 24–34. DOI: 10.24411/2071-8268-2018-10305 (In Russian).
6. Ma J. H., Zhao S. H., Zhang L. Q., Wu Yo. Comparison of structure and properties of two styrene-butadiene rubbers filled with carbon black, carbon-silica dual-phase filler, and silica. *Rubber Chemistry and Technology*, 2013, vol. 86, no. 4, pp. 664–678. DOI: 10.5254/rct.13.87956.
7. Xiong X., Wang J., Jia H., Ding L. Synergistic effect of carbon black and carbon-silica dual phase filler in natural rubber matrix. *Polymer Composites*, 2014, vol. 35, no. 8, pp. 1466–1472. DOI: 10.1002/pc.22800.
8. Wang J., Jia H., Ding L., Xiong X. Impacts of filler covalent and non-covalent modification on the network structure and mechanical properties of carbon-silica dual phase filler/natural rubber. *Polymers for Advanced Technologies*, 2015, vol. 26, no. 9, pp. 1168–1175. DOI: 10.1002/pat.3550.
9. Shanmugaraj A. M., Bhowmick A. K. Rheological properties of styrene-butadiene rubber filled with electron beam modified surface treated dual phase fillers. *Radiation Physics and Chemistry*, 2004, vol. 69, no. 1, pp. 91–98. DOI: 10.1016/S0969-806X(03)00331-1.
10. Wang J. Y., Jia H., Ding L., Xiong X., Gong X. The mechanism of carbon-silica dual phase filler modified by ionic liquid and its reinforcing on natural rubber. *Polymer Composites*, 2015, vol. 36, no. 9, pp. 1721–1730. DOI: 10.1002/pc.23083.
11. Zaeimoedin T. Z., Kamal M. M. Processability behaviour of dual filler systems reinforced epoxided natural rubber. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 974, pp. 195–198. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.974.195.
12. Sarkawi S. S., Aziz A. K., Abd-Rahim R., Ghani R. A. Properties of epoxidized natural rubber tread compound: The hybrid reinforcing effect of silica and silane system. *Polymers and Polymer Composites*, 2016, vol. 24, no. 9, pp. 775–782. DOI: 10.1177/096739111602400914.
13. Feng W., Tang Zh., Weng P., Guo B. Correlation of filler networking with reinforcement and dynamical properties of SBR/carbon black/silica composites. *Rubber Chemistry and Technology*, 2015, vol. 88, no. 4, pp. 676–689. DOI: 10.5254/rct.15.84881.
14. Al-Ghamdi A. A., Al-Hartomy O. A., Al-Solamy F. R., Dishovsky N., Mihaylov M., Malinova P., Atanasov N. Natural rubber based composites comprising different types of carbon-silica hybrid fillers. comparative study on their electric, dielectric and microwave properties, and possible applications. *Materials Sciences and Applications*, 2016, vol. 7, no. 6, pp. 295–306. DOI: 10.4236/msa.2016.76027.

15. Wang X., Wu L., Yu H., Xiao T., Li H., Yang J. Analysis of effect of modification of silica and carbon black co-filled rubber composite on mechanical properties. *e-Polymers*, 2021, vol. 21, no. 1, pp. 279–288. DOI: 10.1515/epoly-2021-0034.
16. GOST 270–75. Rubber. Method for determining tensile elastic strength properties. Moscow, Standartinform Publ., 1975. 29 p. (In Russian).
17. ISO 188–2013. Rubber and thermoplastic elastomers. Accelerated aging and heat resistance tests. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 24 p. (In Russian).
18. GOST 261–79. Rubber. Methods for determining fatigue endurance under repeated stretching. Moscow, Standartinform Publ., 1979. 25 p. (In Russian).
19. GOST 9983–74. Rubber. Test methods for repeated longitudinal bending of specimens with a straight groove. Moscow, Standartinform Publ., 1974. 8 p. (In Russian).
20. Dik Dzh. S. *Tekhnologiya reziny: retsepturostroyeniye i ispytaniya* [Rubber technology: formulation development and testing]. St. Petersburg, NOT Publ., 2010. 620 p. (In Russian).
21. Zhovner N. A., Chirkova N. V., Khlebov G. A. *Struktura i svoystva materialov na osnove elastomerov* [Structure and properties of materials based on elastomers]. Omsk, Filial RosZITLP Publ., 2003. 276 p. (In Russian).
22. Reznichenko S. V., Morozova Yu. L. *Bol'shoy spravochnik rezinshchika* [Great reference book for rubber workers], part 1: Rubbers and ingredients. Moscow, Tekhinform Publ., 2012. 744 p. (In Russian).
23. Mark Dzh., Erman B., Eyrich F. *Kauchuk i rezina. Nauka i tekhnologiya* [Rubber and rubber. Science and technology]. Dolgoprudny, Intellect Publ., 2011. 768 p. (In Russian).

Информация об авторах

Шашок Жанна Станиславовна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: shashok@belstu.by

Усс Елена Петровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: uss@belstu.by

Кротова Ольга Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: o.krotova@belstu.by

Лешкевич Анастасия Владимировна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nastyonke@mail.ru

Каюшников Сергей Николаевич – кандидат технических наук, начальник инженерно-технического центра. ОАО «Белшина» (213824, г. Бобруйск, ул. Минское шоссе, Республика Беларусь). E-mail: ksn@belshina.by

Люштык Андрей Юрьевич – главный химик, начальник лаборатории. ОАО «Белшина» (213824, г. Бобруйск, ул. Минское шоссе, Республика Беларусь). E-mail: lyushtykayu@belshina.by

Information about the authors

Shashok Zhanna Stanislavovna – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shashok@belstu.by

Uss Elena Petrovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uss@belstu.by

Krotova Olga Aleksandrovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.krotova@belstu.by

Liashkevich Anastasiya Vladimirovna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nastyonke@mail.ru

Kayushnikov Sergey Nikolayevich – PhD (Engineering), Head of Engineering and Technical Center. JSC “Belshina” (Minskoe shosse str., 213824, Bobruisk, Republic of Belarus). E-mail: ksn@belshina.by

Lyushtyk Andrey Yur'yevich – Chief Chemist, Head of the Laboratory. JSC “Belshina” (Minskoye shosse str., 213824, Bobruisk, Republic of Belarus). E-mail: lyushtykayu@belshina.by

Поступила 05.12.2023