

УДК 678.046

**А. Ю. Люштык<sup>1</sup>, Ж. С. Шашок<sup>2</sup>, Е. П. Усс<sup>2</sup>, О. А. Кротова<sup>2</sup>, А. В. Лешкевич<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ОАО «Белшина»<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШИННЫХ РЕЗИН  
С РАЗЛИЧНЫМИ ДОЗИРОВКАМИ КАПЛИНГ-АГЕНТА**

Исследованы технические свойства резин на основе комбинации растворного бутадиен-стирольного и натурального каучуков, содержащие кремнекислотный наполнитель и каплинг-агент в различной дозировке. В качестве объектов исследования выступали эластомерные композиции на основе каучуков марок ДССК-2163ПФ и TSR-20. В работе использовался высокодисперсный кремнекислотный наполнитель Экстрасил 150ВД в дозировке 75 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В качестве каплинг-агента применяли силан марки X 50-S, который представляет собой смесь бифункционального серосодержащего органосилана и технического углерода. Определено, что увеличение дозировки каплинг-агента приводит к росту на 13,3–26,7% показателя условного напряжения при 100%-ном удлинении, уменьшению условной прочности при растяжении на 8,1–8,7%, относительного удлинения при разрыве на 12,8–17,9% и сопротивления раздиру на 11,9–13,5%. Однако определение изменения основных технических свойств после теплового старения показало, что композиции с более высокой дозировкой каплинг-агента характеризуются большей стойкостью к термоокислительным процессам, протекающим при воздействии повышенной температуры и кислорода воздуха. При этом эластомерная композиция с 12 мас. ч. силана марки X 50-S при определенных условиях старения имеет наименьшее изменение показателей условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве. Характер изменения технических свойств шинных резин обусловлен возможностью серосодержащего органосилана при температуре вулканизации распадаться с образованием элементарной серы, которая в дальнейшем участвует в формировании структуры вулканизационной сетки, что и обуславливает различия основных технических показателей шинных резин и их стойкость к тепловому старению.

**Ключевые слова:** бутадиен-стирольный каучук, натуральный каучук, резина, кремнекислотный наполнитель, каплинг-агент, прочность, сопротивление раздиру.

**Для цитирования:** Люштык А. Ю., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Кротова О. А., Лешкевич А. В. Технические свойства шинных резин с различными дозировками каплинг-агента // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2025. № 1 (289). С. 12–17.

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-289-2.

**A. Yu. Lyushtyk<sup>1</sup>, Zh. S. Shashok<sup>2</sup>, E. P. Uss<sup>2</sup>, O. A. Krotova<sup>2</sup>, A. V. Leshkevich<sup>2</sup>**<sup>1</sup>JSC “Belshina”<sup>2</sup>Belarusian State Technological University**TECHNICAL PROPERTIES OF TYRE RUBBERS  
WITH VARIOUS DOSAGES OF COUPLING AGENT**

The technical properties of rubbers based on a combination of solution butadiene-styrene and natural rubbers containing silica filler and coupling agent in different dosages were investigated. Elastomeric compositions based on rubbers of the DSSK-2163PF and TSR-20 brands were used as objects of study. Highly dispersed silica filler Extrasil 150VD was used in the work in a dosage of 75 parts by weight per 100 parts by weight of rubber. Silane of the X 50-S brand, which is a mixture of bifunctional sulfur-containing organosilane and technical carbon, was used as a coupling agent. It was determined that an increase in the coupling agent dosage leads to an increase in the conventional stress at 100% elongation by 13.3–26.7%, a decrease in the conventional tensile strength by 8.1–8.7%, relative elongation at break by 12.8–17.9% and tear resistance by 11.9–13.5%. However, determination of changes in the main technical properties after thermal aging showed that compositions with a higher coupling agent dosage are characterized by greater resistance to thermal-oxidative processes occurring under the influence of elevated temperature and atmospheric oxygen. At the same time, the elastomer composition with 12 parts by weight silane grade X 50-S under certain aging conditions has the smallest change in the conventional tensile strength and relative elongation at break. The nature of the change in the technical properties of tire rubbers is due to the ability of sulfur-containing organosilane to decompose at the vulcanization temperature with the formation of elemental sulfur, which subsequently participates in the formation of the structure of the vulcanization network, which determines the differences in the main technical indicators of tire rubbers and their resistance to thermal aging.

**Keywords:** styrene-butadiene rubber, natural rubber, rubber, silica filler, coupling agent, strength, tear resistance.

**For citation:** Lyushtyk A. Yu., Shashok Zh. S., Uss E. P., Krotova O. A., Leshkevich A. V. Technical properties of tyre rubbers with various dosages of coupling agent. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2025, no. 1 (289), pp. 12–17 (In Russian). DOI: 10.52065/2520-2669-2025-289-2.

**Введение.** Использование армирующих наполнителей позволяет повысить эксплуатационные свойства резин. Улучшение этих свойств зависит от различных факторов, а именно: тип, дозировка выбранного армирующего наполнителя, равномерность его диспергирования в объеме эластомерной матрицы, а также совместимость эластомера и наполнителя [1].

На протяжении многих лет в резиновой промышленности широко используются два типа армирующих наполнителей – технический углерод и осажденный кремнезем (кремнекислотный наполнитель, силика, белая сажа) [2, 3]. Кремнезем в основном применялся в производстве цветных или светлых резинотехнических изделий. Данный наполнитель является гидрофильным или полярным, поскольку на поверхности его частиц содержится большое количество силанольных групп. В связи с этим диспергирование кремнекислотного наполнителя в объеме неполярного каучука затруднено [4–7].

Замена технического углерода кремнеземом в составе протектора шин, согласно патенту компании Michelin [8], позволяет получить шины с более низким сопротивлением качению и более высоким сцеплением с мокрой дорогой [9], что приводит к меньшему расходу топлива и повышению безопасности. Использование кремнезема также улучшает другие свойства состава, такие как прочность на разрыв, тепловыделение, устойчивость к порезам, сколам и фрагментации [5, 10].

Однако особенности поверхности кремнекислотного наполнителя приводят к его неудовлетворительному диспергированию в каучуке, что увеличивает вязкость резиновой смеси, затрудняет ее переработку, оказывает влияние на процесс вулканизации и свойства резин [11]. Для устранения указанных недостатков в состав эластомерных композиций с кремнеземом вводят каплинг-агенты или силановые связующие агенты. Каплинг-агент представляет собой бифункциональное соединение, состоящее из двух функционально активных концевых групп, т. е. легкогидролизуемой алкоксигруппы и органофункциональной группы. Первые могут вступать в химическую реакцию с силанольными группами на поверхности кремнезема с образованием стабильных силоксановых связей, тогда как вторые, которые относительно неполярны, более совместимы с каучуками, могут участвовать в вулканизации серой с образованием химических связей с каучуками.

Как следствие, силановый связующий агент может действовать как связующее звено между кремнеземом и каучуком для усиления взаимодействия каучука и наполнителя и, таким образом, значительно улучшать свойства соединений, наполненных кремнеземом [12, 13].

**Основная часть.** Цель работы – определить влияние дозировки каплинг-агента на технические свойства резин на основе комбинации бутадиен-стирольного и натурального каучуков.

Объектом исследования являлись эластомерные композиции на основе комбинации растворного бутадиен-стирольного каучука марки ДССК-2163ПФ и натурального каучука марки TSR-20 (в соотношении 75 : 25).

ДССК-2163ПФ – это бутадиен-стирольный синтетический функционализированный разветвленный каучук с повышенным содержанием 1,2-связей и 1,4-транс-связей (не менее 14%). Данный каучук является продуктом сополимеризации 1,3-бутадиена со стиролом в углеводородном растворителе [14]. В работе использовался технически специфицированный натуральный каучук марки TSR-20, который в соответствии с требованиями стандарта на каучук характеризуется строго регламентируемыми значениями содержания и предельного размера загрязнений, некоторыми показателями химического состава, пластичности (вязкости) и др. [15].

В состав резиновой смеси вводился высокодисперсный кремнекислотный наполнитель марки Экстрасил 150ВД (табл. 1) в дозировке 75 мас. ч.

Таблица 1  
Техническая характеристика кремнекислотного наполнителя марки Экстрасил 150ВД

Показатель	Значение показателя
Массовая доля диоксида кремния, %	97
Массовая доля влаги, %, не более	4–7
pH 5%-ной водной суспензии	5,4–7,5
Массовая доля веществ, растворимых в воде, %, не более	2,5
Удельная поверхность по адсорбции цетилтриметиламмонийбромида (ЦТАБ), м <sup>2</sup> /г	140–165

Каплинг-агентом являлся силан марки X 50-S, представляющий собой смесь бифункционального серосодержащего органосилана бис(триэтоксисилилпропил)тетрасульфида, который наиболее известен под торговой маркой Si-69 (TESPT),

и технического углерода типа N 330 в соотношении 1 : 1 по массе. Дозировка связующего агента составляла 10; 12 и 14 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Упругопрочностные свойства резин определялись в соответствии с ГОСТ 270–75 [16], а сопротивление раздиру – по ГОСТ 262–93 [17]. Стойкость резин к тепловому старению оценивалась согласно ГОСТ 9.024–74 [18] (температура 120°C, продолжительность 12 ч; температура 100°C, продолжительность 36 ч).

В табл. 2 приведены технические свойства шинных резин с различной дозировкой каплинг-агента до и после старения.

Таблица 2  
Технические свойства шинных резин с различной дозировкой каплинг-агента до и после теплового старения

Показатель	Дозировка каплинг-агента X 50-S, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука		
	10	12	14
Условное напряжение при 100%-ном удлинении, МПа:			
– при нормальных условиях	3,0	3,4	3,8
– после старения 120°C × 12 ч	3,4	4,0	4,5
– после старения 100°C × 36 ч	3,3	4,1	4,6
Условная прочность при растяжении, МПа:			
– при нормальных условиях	17,2	15,8	15,7
– после старения 120°C × 12 ч	15,4	14,7	14,8
– после старения 100°C × 36 ч	16,1	16,6	15,0
Относительное удлинение при разрыве, %:			
– при нормальных условиях	390	340	320
– после старения 120°C × 12 ч	310	270	260
– после старения 100°C × 36 ч	320	310	270
Сопротивление раздиру, кН/м:			
– при нормальных условиях	59	52	51
– после старения 120°C × 12 ч	37	39	34
– после старения 100°C × 36 ч	36	33	33

Из табл. 2 видно, что с повышением содержания в составе эластомерных композиций каплинг-агента значение условного напряжения при 100%-ном удлинении увеличивается на 13,3–26,7%. Следует отметить, что после теплового старения при исследуемых режимах указанный показатель растет для всех резин, при этом выявлен аналогичный характер изменения свойств с повышением дозировки силана марки X 50-S, как и до теплового старения.

В случае показателя условной прочности при растяжении установлено, что увеличение дозировки каплинг-агента приводит к уменьшению прочностных свойств вулканизатов. Так, для композиций с 10 мас. ч. связующего агента марки X 50-S значение условной прочности при

растяжении составляет 17,2 МПа, а для резин с более высокой дозировкой каплинг-агента указанный показатель не имеет существенных различий и находится в пределах 15,7–15,8 МПа.

Уменьшение эластических свойств также выявлено с увеличением содержания в составе резиновых смесей каплинг-агента. В данном случае значение относительного удлинения при разрыве для резины с 10 мас. ч. силана марки X 50-S составляет 390%, а для резин с 12 и 14 мас. ч. – 340 и 320% соответственно.

Анализ результатов определения сопротивления раздиру резин показал, что при увеличении дозировки каплинг-агента данный показатель уменьшается на 11,9–13,6%. Выявленный характер изменения технических свойств резин до теплового старения при увеличении дозировки каплинг-агента может быть обусловлен влиянием силана на процесс формирования вулканизационной структуры резины. Связующий агент марки X 50-S в процессе вулканизации может распадаться по сульфидной связи, что приводит к образованию элементарной серы [19]. Увеличение дозировки силана способствует повышению содержания элементарной серы в объеме эластомерной матрицы, что обуславливает различия пространственной сетки вулканизата и, как следствие, различия основных технических свойств резин.

В табл. 3 приведены результаты изменения основных показателей технических свойств резин после теплового старения.

Таблица 3  
Изменения технических свойств шинных резин после теплового старения

Показатель	Дозировка каплинг-агента X 50-S, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука		
	10	12	14
Изменение условного напряжения при 100%-ном удлинении, %:			
– после старения 120°C × 12 ч	13,3	17,6	18,4
– после старения 100°C × 36 ч	10,0	20,6	21,1
Изменение условной прочности при растяжении, %:			
– после старения 120°C × 12 ч	–10,5	–7,0	–5,7
– после старения 100°C × 36 ч	–6,4	5,1	–4,5
Изменение относительного удлинения при разрыве, %:			
– после старения 120°C × 12 ч	–20,5	–20,6	–18,8
– после старения 100°C × 36 ч	–17,9	–8,8	–15,6
Изменение сопротивления раздиру, %:			
– после старения 120°C × 12 ч	–37,3	–25,0	–33,3
– после старения 100°C × 36 ч	–39,0	–36,5	–35,3

Из представленных данных видно, что наименьшим изменением условного напряжения при 100%-ном удлинении в условиях воздействия повышенной температуры и кислорода воздуха характеризуется композиция с минимальной дозировкой каплинг-агента 10 мас. ч. Так, изменение указанного показателя резин после теплового старения  $120^{\circ}\text{C} \times 12$  ч составляет 13,3%, а после  $100^{\circ}\text{C} \times 36$  ч – 10,0%; для резин с более высокой дозировкой каплинг-агента изменение условного напряжения при 100%-ном удлинении при исследуемых режимах теплового старения составляет 17,6–18,4 и 20,6–21,1% соответственно. В то же время анализ полученных результатов стойкости вулканизатов к тепловому старению показал, что наименьшее изменение условной прочности при растяжении в условиях воздействия повышенной температуры и кислорода воздуха при  $120^{\circ}\text{C} \times 12$  ч имеет резина с 14 мас. ч. каплинг-агента (–5,7%), а в случае старения в условиях  $100^{\circ}\text{C} \times 36$  ч – резина с 12 мас. ч. силана марки X 50-S (5,1%). Практически аналогичный характер изменения свойств резины при тепловом старении в зависимости от дозировки каплинг-агента выявлен и для показателя относительного удлинения при разрыве.

При более высокой температуре воздействия ( $120^{\circ}\text{C}$ ) наибольшей стойкостью к изменению эластических свойств характеризуется резина с максимальной дозировкой связующего агента, а при меньшей температуре теплового старения ( $100^{\circ}\text{C}$ ) наименьшее изменение выявлено для эластомерной композиции с 12 мас. ч.

Результаты определения изменения показателя сопротивления раздиру после теплового старения  $120^{\circ}\text{C} \times 12$  ч показали, что резина с 12 мас. ч. каплинг-агента характеризуется большей стойкостью к разрушению при концентрации напряжения. В случае же теплового старения  $100^{\circ}\text{C} \times 36$  ч наименьшие изменения показателя сопротивления раздиру выявлены для композиций

с 12 и 14 мас. ч. силана. Установленный характер изменения технических свойств резин при воздействии повышенной температуры и кислорода воздуха обусловлен природой поперечных связей вулканизата, формируемых в процессе вулканизации, плотностью поперечного сшивания и равномерностью распределения связей в объеме эластомерной матрицы, а также процессами распада и перегруппировки поперечных связей, протекающих при термоокислительном воздействии [20].

**Заключение.** Таким образом, на основании проведенных исследований определено, что увеличение дозировки каплинг-агента марки X 50-S в составе эластомерных композиций приводит к повышению на 13,3–26,7% показателя условного напряжения при 100%-ном удлинении, уменьшению условной прочности при растяжении на 8,1–8,7%, относительного удлинения при разрыве на 12,8–17,9% и сопротивления раздиру на 11,9–13,5%. В то же время результаты определения изменения основных технических свойств после теплового старения показали, что композиции с более высокой дозировкой каплинг-агента характеризуются большей стойкостью к воздействию повышенной температуры и кислорода воздуха. При этом композиция с 12 мас. ч. силана марки X 50-S в условиях длительного теплового старения при температуре  $100^{\circ}\text{C}$  имеет наименьшее изменение условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве. Установленный характер изменения технических свойств резин до и после теплового старения от дозировки каплинг-агента обусловлен участием связующего агента в процессе вулканизации, поскольку органосилан бис(триэтоксисилилпропил)тетрасульфида может распадаться по сульфидной связи с образованием элементарной серы, которая взаимодействуя с макромолекулами каучука принимает участие в формировании структуры резины.

### Список литературы

1. Synergistic Effect of Maleated Natural Rubber and Modified Palm Stearin as Dual Compatibilizers in Composites based on Natural Rubber and Halloysite Nanotubes / N. Hayeemasae [et al.] // *Polymers*. 2020. Vol. 12, no. 4. DOI: 10.3390/polym12040766.
2. Compatibilization of silica-filled natural rubber compounds by combined effects of functionalized low molecular weight rubber and silane / P. Saramolee [et al.] // *Journal of Elastomers & Plastics*. 2016. Vol. 48, no. 2. P. 145–163. DOI: 10.1177/0095244314568469.
3. Гришин Б. С. Теория и практика усиления эластомеров. Состояние и направления развития. Казань: КНИТУ, 2016. 420 с.
4. The Natural Rubber/Silica/Silane Composites: Study on Hardness, Tensile and Morphology Behaviours / I. Surya [et al.] // *Proceedings of the 2nd International Conference on Science Education and Sciences 2022 (ICSES 2022)*. *Advances in Physics Research*. 11 August 2023. P. 127–135. DOI: 10.2991/978-94-6463-232-3\_13.
5. Functional rubber composites based on silica-silane reinforcement for green tire application: the state of the art / J. Neethirajan [et al.] // *Functional Composite Materials*. 2022. Vol. 3, no. 7. DOI: 10.1186/s42252-022-00035-7.

6. Silica-reinforced tire tread compounds compatibilized by using epoxidized natural rubber / K. Sengloyluan [et al.] // *European Polymer Journal*. 2014. Vol. 51. P. 69–79.
7. 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.
8. Rubber compound and tires based on such a compound: pat. EP 0501227 / R. Roland. Publ. 02.09.1992.
9. Luginsland H. D., Niedermeier W. New reinforcing materials for rising tire performance demands // *Rubber World*. 2003. Vol. 228, no. 6. P. 34–45.
10. Mark J., Erman B., Roland M. *The Science and Technology of Rubber*. Washington: Academic Press is an Imprint of Elsevier, 2005. 768 p.
11. Influence of carbon black and silica filler on the rheological and mechanical properties of natural rubber compound / I. M. Ulfah [et al.] // *Procedia Chemistry*. 2015. Vol. 16. P. 258–264.
12. Comparison of reinforcing efficiency between Si-69 and Si-264 in an efficient vulcanization system / P. Sae-oui [et al.] // *Polymer Testing*. 2005. Vol. 24, no. 4. P. 439–446.
13. Roles of silane coupling agents on properties of silica-filled polychloroprene / P. Sae-oui [et al.] // *European Polymer Journal*. 2006. Vol. 42, no. 3. P. 479–486.
14. ДССК-2163-ПФ/SSBR-2163 PF в пластиковой упаковке 0,45 ТТ 00148889-016-2015. URL: [https://shop.sibur.ru/catalog/kauchuki/dssk\\_2163\\_pf\\_ssbr\\_2163\\_pf\\_v\\_plastikovoy\\_upakovke\\_0\\_45\\_tt\\_00148889\\_016\\_2015\\_142977/](https://shop.sibur.ru/catalog/kauchuki/dssk_2163_pf_ssbr_2163_pf_v_plastikovoy_upakovke_0_45_tt_00148889_016_2015_142977/) (дата обращения: 17.10.2024).
15. Куперман Ф. Е. Новые каучуки для шин: приоритетные требования: методы оценки. М.: НИИШП, 2005. 329 с.
16. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении: ГОСТ 270–75. М.: Стандартиформ, 1975. 29 с.
17. Резина. Определение сопротивления раздиру (раздвоенные, угловые и серповидные образцы): ГОСТ 262–93. М.: Стандартиформ, 2002. 11 с.
18. Резины. Методы испытаний на стойкость к термическому старению: ГОСТ 9.024–74. М.: Стандартиформ, 1974. 12 с.
19. White J., De S. K., Naskar K. *Rubber technologist's handbook*. Volume 2. UK: Smithers Rapra Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, 2009. 450 p.
20. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.

### References

1. Hayeemasae N., Sensem Z., Surya I., Sahakaro K., Ismail H. Synergistic Effect of Maleated Natural Rubber and Modified Palm Stearin as Dual Compatibilizers in Composites based on Natural Rubber and Halloysite Nanotubes. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 4. DOI: 10.3390/polym12040766.
2. Saramolee P., Sahakaro K., Lopattananon N., Dierkes W. K., Noordermeer J. W. Compatibilization of silica-filled natural rubber compounds by combined effects of functionalized low molecular weight rubber and silane. *Journal of Elastomers & Plastics*, 2016, vol. 48, no. 2, pp. 145–163. DOI: 10.1177/0095244314568469.
3. Grishin B. S. *Teoriya i praktika usileniya elastomerov. Sostoyaniye i napravleniya razvitiya* [Theory and practice of strengthening elastomers. Status and directions of development]. Kazan, KNITU Publ., 2016. 420 p. (In Russian).
4. Surya I., Sabri N., Marpongahtun M., Hayeemasae N., Doyan A. The Natural Rubber/Silica/Silane Composites: Study on Hardness, Tensile and Morphology Behaviours. *Proceedings of the 2nd International Conference on Science Education and Sciences 2022 (ICSES 2022). Advances in Physics Research*, 11 August 2023, pp. 127–135. DOI: 10.2991/978-94-6463-232-3\_13.
5. Neethirajan J., Parathodika A. R., Hu G. H., Naskar K. Functional rubber composites based on silica-silane reinforcement for green tire application: the state of the art. *Functional Composite Materials*, 2022, vol. 3, no. 7. DOI: 10.1186/s42252-022-00035-7.
6. Sengloyluan K., Sahakaro K., Dierkes W. K., Noordermeer W. M. Silica-reinforced tire tread compounds compatibilized by using epoxidized natural rubber. *European Polymer Journal*, 2014, vol. 51, pp. 69–79.
7. Kablov V. F., Aksenov V. I. Current 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 (In Russian).
8. Roland R. Rubber compound and tires based on such a compound. Patent EP 0501227, 1992.
9. Luginsland H. D., Niedermeier W. New reinforcing materials for rising tire performance demands. *Rubber World*, 2003, vol. 228, no. 6, pp. 34–45.
10. Mark J., Erman B., Roland M. *The Science and Technology of Rubber*. Washington, Academic Press is an Imprint of Elsevier, 2005. 768 p.

11. Ulfah I. M., Fidyarningsih R., Rahayu S., Fitriani D. A., Saputra D. A., Winarto D. A., Wisojodharmo L. A. Influence of carbon black and silica filler on the rheological and mechanical properties of natural rubber compound. *Procedia Chemistry*, 2015, vol. 16, pp. 258–264.
12. Sae-oui P., Sirisinha Ch., Hatthapanit K., Thepsuwan U. Comparison of reinforcing efficiency between Si-69 and Si-264 in an efficient vulcanization system. *Polymer Testing*, 2005, vol. 24, no. 4, pp. 439–446.
13. Sae-oui P., Sirisinha Ch., Thepsuwan U., Hatthapanit K. Roles of silane coupling agents on properties of silica-filled polychloroprene. *European Polymer Journal*, 2006, vol. 42, no. 3, pp. 479–486.
14. DSSC-2163-PF/SSBR-2163 PF in plastic packaging 0.45 TT 00148889-016-2015. Available at: [https://shop.sibur.ru/catalog/kauchuki/dssk\\_2163\\_pf\\_ssbr\\_2163\\_pf\\_v\\_plastikovoy\\_upakovke\\_0\\_45\\_tt\\_00148889\\_016\\_2015\\_142977/](https://shop.sibur.ru/catalog/kauchuki/dssk_2163_pf_ssbr_2163_pf_v_plastikovoy_upakovke_0_45_tt_00148889_016_2015_142977/) (accessed 17.10.2024) (In Russian).
15. Kuperman F. E. *Novyye kauchuki dlya shin: prioritetnyye trebovaniya: metody otsenki* [New rubbers for tires: priority requirements: evaluation methods]. Moscow, NIIShP Publ., 2005. 329 p. (In Russian).
16. GOST 270–75. Rubber. Method for determining tensile elastic strength properties. Moscow, Standartinform Publ., 1975. 29 p. (In Russian).
17. GOST 262–93. Rubber. Determination of tear resistance (split, corner and crescent samples). Moscow, Standartinform Publ., 2002. 11 p. (In Russian).
18. GOST 9.024–74. Rubbers. Test methods for resistance to thermal aging. Moscow, Standartinform Publ., 1974. 12 p. (In Russian).
19. White J., De S. K., Naskar K. Rubber technologist's handbook. Volume 2. UK, Smithers Rapra Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, 2009. 450 p.
20. 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).

#### Информация об авторах

**Люштык Андрей Юрьевич** – главный химик – начальник лаборатории. ОАО «Белшина» (ул. Минское шоссе, 213824, г. Бобруйск, Республика Беларусь). E-mail: jb133xxxx@gmail.com

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

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

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

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

#### Information about the authors

**Lyushtyk Andrey Yur'yevich** – Chief Chemist – Head of the Laboratory. JSC “Belshina” (Minskoye shosse str., 213824, Bobruisk, Republic of Belarus). E-mail: jb133xxxx@gmail.com

**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), Associate Professor, 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

**Leshkevich 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

Поступила 11.11.2024