

УДК 678.09

В. В. Боброва¹, А. В. Касперович¹, Е. В. Точилин²¹Белорусский государственный технологический университет²Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГАММА-КВАНТАМИ**

Разработка новых материалов на основе высокомолекулярных соединений, а также поиск путей модификации традиционных материалов является одним из приоритетных направлений науки и техники, так как обеспечивает технический прогресс в различных отраслях производства. Необходимость в альтернативных технологиях модификации полимеров связана с многостадийностью традиционных процессов, высокими энерго- и трудовыми затратами, экологической напряженностью производства. Исследования отечественных и зарубежных ученых по применению электрофизических методов обработки материалов и изделий показали высокую эффективность использования для этой цели энергии сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний, ионизирующего излучения. Объемная обработка полимерных материалов и изделий позволяет значительно ускорить процесс модификации по сравнению с другими методами обработки, при этом повышается качество готовых изделий, уменьшаются термомеханические эффекты, габариты производственной установки, улучшаются экономические показатели процесса. Основной целью данной работы являлось установление влияния доз γ -квантов на эксплуатационные свойства промышленных эластомерных композиций с различной степенью вулканизации (t_{80} и t_{90}), предназначенных для изготовления протектора летних легковых шин. Объектами исследования выступали эластомерные композиции на основе комбинации синтетического изопренового, бутадиенового и бутадиен-стирольного каучуков общего назначения. Определение показателя сопротивления истиранию при скольжении резин продемонстрировало, что модификация γ -квантами во всех исследуемых дозировках способствует увеличению данного показателя до 34,5% при степени вулканизации t_{80} и до 29,8% – при t_{90} . Исследование теплообразования в эластомерных композициях выявило, что воздействие ионизирующего излучения на эластомерные композиции с различной степенью сшивания фактически не оказывает влияния на изменение температуры в объеме материала при циклических нагружениях (изменение составляет до 3°C). Исследование резин на сопротивление разрастанию трещин при изгибе показало, что наиболее высокие результаты наблюдаются для резин со степенью сшивания t_{80} , модифицированных на гамма-установке с источником ^{60}Co и мощностью дозы 30 кГр.

Ключевые слова: эластомерные композиции, γ -кванты, протектор, сопротивление истиранию, сопротивление разрастанию трещин.

Для цитирования: Боброва В. В., Касперович А. В., Точилин Е. В. Эксплуатационные свойства эластомерных композиций, модифицированных гамма-квантами // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 29–35.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-4.

V. V. Bobrova¹, A. V. Kasperovich¹, E. V. Tochilin²¹Belarusian State Technological University²Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Materials Science**PERFORMANCE PROPERTIES OF ELASTOMER COMPOSITIONS
MODIFIED BY GAMMA QUANTUMS**

The development of new materials based on high-molecular compounds, as well as the search for ways to modify traditional materials, is one of the priority areas of science and technology, as it ensures technical progress in various industries. The need for alternative technologies for modifying polymers is associated with the multi-stage nature of traditional processes, high energy and labor costs, and the environmental stress of production. Research by domestic and foreign scientists on the use of electrophysical methods for processing materials and products has shown the high efficiency of using the energy of ultra-high-frequency electromagnetic oscillations and ionizing radiation for this purpose. Volumetric processing of polymer materials and products can significantly speed up the modification process compared to other processing methods, while the quality of finished products increases, thermomechanical effects and the dimensions of the production plant are reduced, and the economic indicators of the process are

improved. The main goal of this work was to establish the influence of doses of γ -quanta on the performance properties of industrial elastomeric compositions with varying degrees of vulcanization (t_{80} and t_{90}), intended for the manufacture of tread of summer passenger tires. The objects of the study were elastomeric compositions based on a combination of synthetic isoprene, butadiene and styrene-butadiene rubbers for general purposes. Determining the indicator of abrasion resistance when sliding rubber showed that modification with γ -quanta in all studied dosages helps to increase this indicator to 34.5% at degree of vulcanization t_{80} and to 29.8% at t_{90} . A study of heat generation in elastomeric compositions revealed that the effect of ionizing radiation on elastomeric compositions with varying degrees of cross-linking actually does not affect the temperature change in the bulk of the material under cyclic loading (the change is up to 3°C). A study of rubbers for resistance to crack propagation during bending showed that the highest results are observed for rubbers with a crosslinking degree of t_{80} , modified in a gamma installation with a ^{60}Co source with a dose rate of 30 kGy.

Keywords: elastomeric compositions, γ -quanta, protector, abrasion resistance, crack propagation resistance.

For citation: Bobrova V. V., Kasperovich A. V., Tochilin E. V. Performance properties of elastomer compositions modified by gamma quanta. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 2 (283), pp. 29–35 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-4.

Введение. Производство и переработка полимерных материалов является одной из интенсивно развивающихся областей человеческой деятельности, конечной целью которой является производство изделий, эксплуатирующиеся в самых различных условиях. Поэтому для увеличения работоспособности резиновых изделий наряду с совершенствованием конструкций и технологии их изготовления большое значение имеет повышение качества резин. Эту проблему, вероятно, нельзя разрешить только синтезом новых полимеров, поскольку в нем имеются принципиальные ограничения, в настоящее время осложненные экономической ситуацией. Поэтому в научных и прикладных исследованиях последних лет сохраняется тенденция к смещению акцента при решении проблем создания материалов с заранее заданными свойствами в сторону модификации их свойств [1].

Воздействие ионизирующего излучения является признанным и универсальным методом инициирования химических и физико-химических превращений в полимерах и мономерах [2]. Данные превращения изменяют свойства вещества за счет образования поперечных связей (сшивки), разрыва связей в основной и боковых цепях (разрушение), устранения и образования двойных углерод-углеродных связей (изменение степени насыщения), внутримолекулярного связывания (циклизация), выделения газа, окисления и других эффектов. Известные взаимосвязи этих процессов позволяют целенаправленно изменять состав поверхностных слоев в полимерах и композитах и придавать им улучшенные и/или уникальные свойства.

Применение радиационного облучения в различных эластомерных соединениях широко обсуждается в литературе [3–5]. Новые свойства, такие как более высокая прочность и более быстрая

реакция сшивания, могут быть достигнуты в процессе облучения при ряде контролируемых условий. Следовательно, при производстве эластомерных соединений наблюдается повышение производительности и качества продукции.

В настоящее время этот технологический процесс используется для изготовления многих изделий, например термоусадочных труб и лент, капсул для промышленных изделий, пенополиолефинов и т. д. [6]. Данный процесс широко применяется в проволочной и кабельной промышленности для сшивания изоляции и оболочки, при этом некоторые составы способны подавлять распространение пламени и, будучи сшитыми, демонстрируют повышенную стойкость к истиранию и стойкость к воздействию жидкостей. Еще одним направлением продукции является радиационное сшивание полимерных труб для распределения воды. Контролируемое радиационное частичное сшивание слоев автомобильных шин повышает стабильность размеров размещения корда и снижает расход материалов.

Исследование действия ионизирующих излучений на полимеры является одним из наиболее важных разделов радиационной химии. Было установлено [7], что под действием ионизирующих излучений могут протекать реакции синтеза и модификации полимеров. Патентовано много различных устройств и приспособлений, ускоряющих процесс радиационной обработки полимерных и некоторых других материалов.

Применение радиационно-химических методов в промышленности показывает [7], что в современных условиях облучение можно рассматривать как такой вид воздействия на химические процессы, который имеет самостоятельное технологическое значение. В ряде случаев использование радиационно-химических методов позволяет упростить технологическую схему

производства, снизить себестоимость продукции и улучшить ее качество.

Радиационная модификация полимерных и резиновых материалов позволяет надлежащим образом изменять их характеристики для улучшения эксплуатационных и потребительских свойств изделий. В частности, радиационная обработка полимерных и резиновых материалов обеспечивает повышение их прочности, износостойкости и расширение диапазона рабочих температур. Практическое применение излучающего обновляющего полимера возможно в различных областях производства, например в полиграфической промышленности, автомобильном и тракторном машиностроении, легкой промышленности и др.

Общей особенностью воздействия пучков ионизирующего излучения, в частности электронного, рентгеновского и тормозного, на химические полосы полимеров является возможность их торможения и образования химически активных радикалов, распространяющихся по объему обрабатываемого материала в соответствии с распределением поглощенной дозы. Продукты ионизации и возбуждения молекул дают начало новым химическим полосам, тем самым изменяя физико-химические свойства исходного материала. Процесс образования макромолекул за счет соединения свободных радикалов позволяет создавать цепочки сложноструктурированных полимерных молекул. Это приводит к улучшению эластичных свойств полимерного материала, расширению температурного диапазона, в котором он сохраняет свойства. Однако, кроме процессов объединения молекул при взаимодействии полимерного материала с ионизирующим излучением, происходят также процессы окисления молекул и образования продуктов с более короткими цепями. Ввиду этого положительный результат (т. е. улучшение эксплуатационных свойств изделий, изготовленных из модифицированных материалов) может быть получен только при определенном соотношении продуктов, образующихся в результате этих двух процессов, что достигается при вполне определенном значении поглощенной дозы для каждого вида материала [8–11].

Ввиду вышеизложенного в данной работе представляет интерес изучение процессов, протекающих в эластомерных композициях под действием гамма-облучения (γ -кванты) за счет изготовления резин с различной степенью вулканизации (t_{90} – оптимальная степень вулканизации 90% и t_{80} – степень вулканизации составляет 80%).

Ранее [12] проводились исследования теплотехнических и эксплуатационных свойств эластомерных композиций для протектора карьерных шин после воздействия различных доз ионизирующего излучения (ускоренных электронов). Определено, что модификация композиций

данным видом облучения способствует улучшению износостойкости резин и уменьшению теплообразования в объеме изделия.

Основная часть. Цель данной работы – установление влияния различных доз γ -квантов на эксплуатационные свойства эластомерных композиций, предназначенных для изготовления протектора летних легковых шин с различной степенью вулканизации (t_{80} и t_{90}).

В качестве объектов исследования выступала промышленная эластомерная композиция на основе комбинации синтетического изопренового (СКИ-3), бутадиенового (СКД) и бутадиен-стирольного (БСК) каучуков общего назначения (табл. 1).

Таблица 1

Рецептура эластомерной композиции для протектора летней легковой шины

Наименование ингредиентов	Содержание ингредиентов, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука
СКИ-3	50,0
СКД	20,0
БСК	30,0
Сера	1,8
Масло И-40	17,5
Наполнитель N339	65,0
Остальные ингредиенты	35,4
<i>Итого</i>	221,3

Модификация исследуемых эластомерных композиций осуществлялась с помощью гамма-установки «Исследователь» с источником ^{60}Co , мощностью экспозиционной дозы 3,7 кГр/ч, междозовым интервалом 10 кГр – 10, 20, 30, 40, 50 кГр.

Вулканизацию эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения проводили при температуре 143°C в течение 30 мин согласно ГОСТ 12535–84 [13]. Стойкость резин к разрастанию трещин при многократном продольном изгибе определяли согласно ГОСТ 9983–74 [14]. Определение сопротивления резин истиранию при скольжении осуществляли согласно ГОСТ 426–77 [15]. Определение теплообразования в резине при многократном сжатии проводили в соответствии с ГОСТ 20418–75 [16]. С целью установления зависимости между степенью вулканизации и эксплуатационными характеристиками вулканизатов на основе исследуемой эластомерной композиции определяли параметры вулканизации при t_{80} и t_{90} . При проведении испытаний на вибрационном реометре материал подвергается постоянным знакопеременным сдвиговым деформациям, что позволяет записать в процессе испытания одного образца непрерывную

кривую изменения свойств материала, отражающую не только изменение пластоэластических характеристик резиновой смеси, но и ее вулканизационные характеристики.

Для изготовления образцов эластомерных композиций с различной степенью вулканизации определяли основные кинетические параметры процесса вулканизации резиновой смеси на основе СКИ-3+СКД+БСК (табл. 2).

Таблица 2
Кинетические параметры вулканизации исследуемой резины

Образец	M_L , дН · м	M_H , дН · м	t_{s2} , мин	$t_{c(90)}$, мин
Резиновая смесь	2,6	15,9	9,9	18,6

Примечание. M_L – минимальный крутящий момент, дН · м; M_H – максимальный крутящий момент, дН · м; t_{s2} – время начала вулканизации, определяемое увеличением минимального крутящего момента на 2 дН · м, мин; $t_{c(90)}$ – оптимальное время вулканизации, мин.

В ходе исследований определено, что оптимальное время вулканизации (t_{90}) исследованных резин составляет 18,6 мин, а t_{80} – 16,5 мин.

Большинство изделий из эластомеров при эксплуатации подвергается воздействию механических сил. Способность материалов сопротивляться механическим воздействиям определяется комплексом эксплуатационных свойств. На данное сопротивление большое влияние оказывают тип и микроструктура каучука, тип вулканизирующей системы и характер образующихся при вулканизации структур [17].

На рис. 1 представлены результаты исследований влияния различных доз γ -квантов на сопротивление истиранию при скольжении исследуемых резин со степенью сшивания t_{80} и t_{90} соответственно.

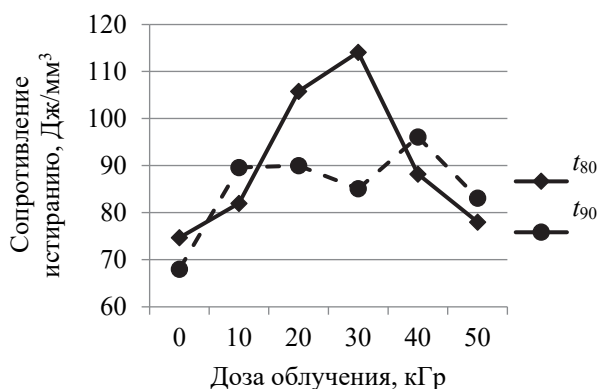


Рис. 1. Зависимости изменения показателя сопротивления истиранию резин с различной степенью вулканизации от поглощенной дозы γ -квантов

Установлено, что радиационная модификация резин с различной степенью вулканизации γ -квантами во всех исследуемых дозировках способствует увеличению показателя сопротивления истиранию при скольжении. Так, для эластомерных композиций со степенью вулканизации t_{80} данный показатель повысился на 9,0–34,5%, а для t_{90} – на 18,2–29,2% по сравнению с резинами без модификации.

Стоит отметить, что наилучшее сопротивление истиранию имеет образец со степенью вулканизации t_{80} , облученный γ -квантами в дозировке 30 кГр, что согласуется с ранее полученными результатами исследований упругопрочностных свойств эластомерных композиций для протектора легковых шин [12].

В процессе эксплуатации большая часть резиновых изделий работает в условиях циклических нагружений при возникающих многократных деформациях растяжения, сжатия, сдвига, изгиба, кручения. В этих жестких условиях в резине протекают сложные физические и химические процессы, которые отрицательно сказываются на эксплуатационных свойствах материала. При многократных деформациях накапливаются гистерезисные потери, из-за которых происходит объемный разогрев материала изнутри. Теплота выделяется в результате внутреннего трения при многократном деформировании. Повышение температуры, безусловно, резко ускоряет физико-химические процессы, активно воздействующие на утомление резин.

Теплообразование исследуемых эластомерных композиций (табл. 3) изучалось на флексометре типа Гудрича при постоянном значении амплитуды сжатия с частотой 25 Гц и амплитудой 6 мм. Испытание заключается в циклическом сжатии цилиндрического образца при заданной деформации и частоте в течение определенного времени и измерении при этом его температуры. Испытание проводилось в течение 10 мин.

Таблица 3
Теплообразование в исследуемых резинах при многократном сжатии

Доза облучения, кГр	Температура, °С	
	t_{80}	t_{90}
0	71	71
10	73	71
20	72	74
30	73	72
40	72	74
50	73	72

Определено, что воздействие ионизирующего излучения на эластомерные композиции с различной степенью вулканизации фактически не оказывает влияния на изменение температуры в объеме

материала при циклических нагружениях (изменение составляет до 3°C, или менее 5%). Таким образом, можно сделать вывод, что γ -кванты, в отличие от ускоренных электронов, не изменяют степень насыщения, т. е. не воздействуют на С–С-связи.

Результаты исследования резин на сопротивление разрастанию трещин при изгибе представлены на рис. 2.

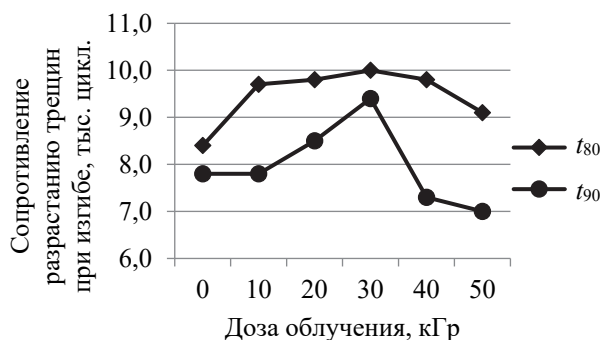


Рис. 2. Зависимости изменения показателя сопротивления образованию и разрастанию трещин при многократном изгибе резин с различной степенью вулканизации от поглощенной дозы γ -квантов

Испытания проводились при температуре 25°C.

При исследовании влияния различных доз γ -квантов на сопротивление разрастанию трещин при изгибе было установлено, что наиболее высокие результаты наблюдаются для резин со степенью вулканизации t_{80} , модифицированных на гамма-установке с мощностью дозы 30 кГр.

В случае композиций со степенью вулканизации t_{90} определено снижение количества циклов при многократном сжатии, особенно при высоких дозах облучения.

Заключение. Таким образом, в результате исследований установлено, что применение γ -квантов для модификации эластомерных композиций на основе комбинации каучуков, предназначенных для изготовления протектора легкой шины, целесообразно в случае резин со степенью вулканизации t_{80} и поглощенной дозой облучения 30 кГр, поскольку в данном случае улучшается сопротивление истиранию при скольжении (на 34,5%) и образованию и разрастанию трещин при многократном изгибе (на 22,0%) эластомерных композиций.

Список литературы

1. Кабанов В. А. Энциклопедия полимеров В 3 т. Т. 2. М.: Советская энциклопедия, 1974. 287 с.
2. Laser surface texturing of polymers for biomedical applications / A. Riveiro [et al.] // *Frontiers in Physics*. 2018. Vol. 6. P. 1–17. DOI: 10.3389/fphy.2018.00016.
3. Electron beam (EB) radiation curing – a unique technique to introduce mixed crosslinks in cured rubber matrix to improve quality and productivity / S. K. Chakraborty [et al.] // *Journal of Applied Polymer Science*. 2011. Vol. 122. P. 3227–3236.
4. Radiation vulcanization of natural rubber with polyfunctional monomers / E. Manaila [et al.] // *Polymer Bulletin*. 2014. Vol. 71. P. 57–82.
5. Bhowmick A. K., Vijayabaskar V. Electron beam curing of elastomers // *Rubber Chemistry and Technology*. 2006. Vol. 79. P. 402–428.
6. Cleland M. R., Parks L. A., Cheng S. Applications for radiation processing of materials // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B*. 2003. Vol. 208. P. 66–73.
7. Радиационная модификация полимерных материалов / Г. Н. Пьянков [и др.]. М.: Техника, 1969. 232 с.
8. Influence of gamma irradiation on the molecular weight distribution and related properties of a polymer: study through simulation and experiment / M. Saha [et al.] // *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*. 2014. Vol. 23, no. 2. URL: <https://www.researchgate.net/publication/268806977> (дата обращения: 13.03.2024).
9. Irradiated chitosan nanoparticle as a water-based antioxidant and reducing agent for a green synthesis of gold nanoplateforms / W. Pasanphan [et al.] // *Radiation Physics and Chemistry*. 2015. Vol. 106. P. 360–370. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2014.08.
10. Comparison of molecular structure and rheological properties of electron-beam- and gamma-irradiated polypropylene / D. Auhl [et al.] // *Macromolecules*. 2012. Vol. 45, no. 4. P. 2057–2065. DOI: 10.1021/ma202265w.
11. Influence of the CO₂ antisolvent effect on ultrasound-induced polymer scission kinetics / M. W. A. Kuijpers [et al.] // *Macromolecules*. 2005. Vol. 38, no. 4. P. 1493–1499. DOI: 10.1021/ma048895d.
12. Elastomer modification by means of ionizing radiation / V. Bobrova [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Slovakia*, 2019. Vol. 776, no. 1. URL: <https://www.researchgate.net/publication/340387794> (дата обращения: 26.03.2024).
13. Смеси резиновые. Метод определения вулканизационных характеристик на вулканметре: ГОСТ 12535–84. М.: Изд-во стандартов, 1985. 33 с.
14. Резина. Методы испытаний на многократный продольный изгиб образцов с прямой канавкой: ГОСТ 9983–74. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.

15. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении: ГОСТ 426–77. М.: Изд-во стандартов, 2002. 6 с.
16. Резина. Методы определения теплообразования, остаточной деформации и усталостной выносливости при многократном сжатии: ГОСТ 20418–75. М.: Изд-во стандартов, 1976. 12 с.
17. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Киров: ВятГУ; Омск: филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.

References

1. Kabanov V. A. *Entsiklopediya polimerov* [Encyclopedia of polymers]. Vol. 2. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1974. 287 p. (In Russian).
2. Riveiro A., Maçon A. L. B., del Val J., Comesaña R., Pou, J. Laser surface texturing of polymers for biomedical applications. *Frontiers in Physics*, 2018, vol. 6, pp. 1–17. DOI: 10.3389/fphy.2018.00016.
3. Chakraborty S. K., Sabharwal S., Das P. K., Sarma K. S. S., Manjula A. K. Electron beam (EB) radiation curing – a unique technique to introduce mixed crosslinks in cured rubber matrix to improve quality and productivity. *Journal of Applied Polymer Science*, 2011, vol. 122, pp. 3227–3236.
4. Manaila E., Craciun G., Stelescu M.-D., Ighigeanu D., Ficaï M. Radiation vulcanization of natural rubber with polyfunctional monomers. *Polymer Bulletin*, 2014, vol. 71, pp. 57–82.
5. Bhowmick A. K., Vijayabaskar V. Electron beam curing of elastomers. *Rubber Chemistry and Technology*, 2006, vol. 79, pp. 402–428.
6. Cleland M. R., Parks L. A., Cheng S. Applications for radiation processing of materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B*, 2003, vol. 208, pp. 66–73.
7. Pyankov G. N. *Radiatsionnaya modifikatsiya polimernykh materialov* [Radiation modification of polymer materials]. Moscow, Tekhnika Publ., 1969. 232 p.
8. Saha M., Mukhopadhyay M., Ray R., Ballabh T. K., Tarafdar S. Influence of gamma irradiation on the molecular weight distribution and related properties of a polymer: study through simulation and experiment. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 2014, vol. 23, no. 2. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/268806977> (accessed 13.03.2024).
9. Pasanphan W., Rattanawongwiboon T., Choofong S., Güven O. Irradiated chitosan nanoparticle as a water-based antioxidant and reducing agent for a green synthesis of gold nanoplatfoms. *Radiation Physics and Chemistry*, 2015, vol. 106, pp. 360–370. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2014.08.
10. Auhl D., Stadler F. J., Münstedt H. Comparison of molecular structure and rheological properties of electron-beam- and gamma-irradiated polypropylene. *Macromolecules*, 2012, vol. 45, no. 4, pp. 2057–2065. DOI: 10.1021/ma202265w.
11. Kuijpers M. W. A., Prickaerts R. M. H., Kemmere M. F., Keurentjes J. T. F. Influence of the CO₂ antisolvent effect on ultrasound-induced polymer scission kinetics. *Macromolecules*, 2005, vol. 38, no. 4, pp. 1493–1499. DOI: 10.1021/ma048895d.
12. Bobrova V., Kasperovich A., Mozyrev A., Krmela J., Kremelova V. Elastomer modification by means of ionizing radiation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Slovakia, 2019, vol. 776, no. 1. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/340387794> (accessed 26.03.2024).
13. GOST 12535–84. Rubber compounds. Method for determining vulcanization characteristics using a vulcanometer. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1985. 33 p. (In Russian).
14. GOST 9983–74. Rubber. Test methods for multiple longitudinal bending of straight-groove samples. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 7 p. (In Russian).
15. GOST 426–77. Rubber. Method for determining sliding abrasion resistance. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2002. 6 p. (In Russian).
16. GOST 20418–75. Rubber. Methods for determining heat generation, residual deformation and fatigue endurance under repeated compression. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1976. 12 p. (In Russian).
17. Zhovner N. A., Chirkova N. V., Hlebov G. A. *Struktura i svoystva materialov na osnove elastomerov* [Structure and properties of elastomer-based materials]. Kirov, VyatGU Publ.; Omsk, filial RosZITLP Publ., 2003. 276 p. (In Russian).

Информация об авторах

Боброва Валерия Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lerik_bobrik94@mail.ru

Касперович Андрей Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nrprok@gmail.com

Точилин Евгений Владимирович – инженер-электроник 1-й категории. Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению (220072, г. Минск, ул. Петруся Бровки, Республика Беларусь).

Information about the authors

Bobrova Valeriya Vladimirovna – PhD (Engineering), Researcher, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lerik_bobrik94@mail.ru

Kasperovich Andrey Viktorovich – PhD (Engineering), Associated Professor, Head of the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andkasp@mail.ru

Tochilin Evgeniy Vladimirovich – electronics engineer of the 1st category. Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Materials Science (19, Petrusya Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).

Поступила 01.04.2024