

Разработка оптимальных условий получения бутадиен-нитрильных каучуков с повышенной морозостойкостью

Валерий Н. Папков	1	vfniisk@mail.ru	 0000-0001-9804-9846
Александр Н. Юрьев	1	vfniisk@mail.ru	 0000-0002-7884-1331
Александр М. Скачков	1	tankkv-2@mail.ru	 0000-0001-6827-6933
Денис А. Роднянский	1	denislqgb@yandex.ru	 0000-0002-5418-1682
Нина И. Щелушкина	1	vfniisk@mail.ru	 0000-0002-0679-9760

1 Воронежский филиал научно-исследовательского института синтетического каучука им. акад. С.В. Лебедева, ул. Менделеева, 3б, г. Воронеж, 394014, Россия

Аннотация. В настоящее время предъявляются высокие требования к готовым резинотехническим изделиям, в частности, к изделиям, которые эксплуатируются в условиях Крайнего Севера. Целью данной работы является определение оптимальных условий получения бутадиен-нитрильных каучуков, обеспечивающих повышение морозостойкости материалов на их основе при сохранении высокого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств. В работе приведены рецепты полимеризации и условия синтеза. Было установлено, что дробное введение нитрила акриловой кислоты и регулятора молекулярной массы обеспечивают оптимальные условия получения синтетического каучука с требуемыми характеристиками. Результаты испытаний опытных образцов на химический состав и физико-механические свойства соответствуют нормам ТУ на каучуки марки SKN-SHT. Наиболее перспективными для создания морозомаслобензостойких изделий являются каучуки и вулканизаты SKN 20SHT. Физико-механические испытания показали, что вулканизат образца SKN 15SHT, полученного при оптимальных условиях синтеза, имеет прочность при растяжении 22,7 МПа, относительное удлинение при разрыве 485% и коэффициент морозостойкости 0,84. Было также установлено, что вулканизат образца SKN 20SHT, полученного при оптимальных условиях синтеза, имеет прочность при растяжении 24,0 МПа, относительное удлинение при разрыве 478%, коэффициент морозостойкости 0,61. Повышение маслобензостойкости морозостойких каучуков и вулканизатов SKN 15SHT может быть реализовано за счёт регулируемого сшивания полимерных цепей каучука на стадии полимеризации. Продолжением данной работы станут расширенные испытания опытных образцов SKN 15SHT и SKN 20SHT с целью определения таких показателей, как температура стеклования, средняя молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение, степень полидисперсности, содержание геля, композиционная однородность и др.

Ключевые слова: бутадиен-нитрильный каучук, синтез, вулканизат, физико-механические свойства, каучук

The development of optimal conditions for the synthesis of the nitrile-butadiene rubbers with enhanced frost resistance

Valery N. Papkov	1	vfniisk@mail.ru	 0000-0001-9804-9846
Alexandr N. Yuriev	1	vfniisk@mail.ru	 0000-0002-7884-1331
Alexandr M. Skachkov	1	tankkv-2@mail.ru	 0000-0001-6827-6933
Denis A. Rodnyansky	1	denislqgb@yandex.ru	 0000-0002-5418-1682
Nina I. Schelushkina	1	vfniisk@mail.ru	 0000-0002-0679-9760

1 Voronezh Department of S.V. Lebedev Research Institute of Synthetic Rubber, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia

Abstract. Currently, there are high requirements for finished rubber products, in particular, for products that are operated in the Far North. The purpose of this work is to determine the optimal conditions for the production of nitrile butadiene rubbers, which provide an increase in the frost resistance of materials based on them while maintaining a high level of physical, mechanical and operational properties. The paper presents polymerization recipes and synthesis conditions. It was found that the fractional addition of acrylic acid nitrile and molecular weight regulator provide optimal conditions for obtaining synthetic rubber with the desired characteristics. The results of testing prototypes for chemical composition and physical and mechanical properties comply with the technical specifications for rubbers of the SKN-SHT brand. Rubbers and vulcanizates SKN 20SHT are the most promising for the creation of frost-oil-resistant products. Physical and mechanical tests have shown that the vulcanizate of the SKN 15SHT sample obtained under optimal synthesis conditions has a tensile strength of 22.7 MPa, an elongation at break of 485%, and a frost resistance coefficient of 0.84. It was also found that the vulcanizate of the SKN 20SHT sample, obtained under optimal synthesis conditions, has a tensile strength of 24.0 MPa, an elongation at break of 478%, and a frost resistance coefficient of 0.61. An increase in the oil and petrol resistance of frost-resistant rubbers and SKN 15SHT vulcanizates can be realized by controlled crosslinking of rubber polymer chains at the polymerization stage. The continuation of this work will be extended tests of prototypes SKN 15SHT and SKN 20SHT in order to determine such indicators as glass transition temperature, average molecular weight, molecular weight distribution, degree of polydispersity, gel content, compositional uniformity, etc.

Keywords: butadiene-nitrile rubber, synthesis, vulcanizate, physical and mechanical properties, rubber

Для цитирования

Папков В.Н., Юрьев А.Н., Скачков А.М., Роднянский Д.А., Щелушкина Н.И. Разработка оптимальных условий получения бутадиен-нитрильных каучуков с повышенной морозостойкостью // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 259–264. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-259-264

For citation

Papkov V.N., Yuriev A.N., Skachkov A.M., Rodnyansky D.A., Schelushkina N.I. The development of optimal conditions for the synthesis of the nitrile-butadiene rubbers with enhanced frost resistance. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 259–264. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-1-259-264

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Эксплуатация резиновых изделий на основе бутадиен-нитрильных каучуков (БНК), работающих в условиях Крайнего Севера, а также некоторых изделий авиапрома требует повышения их морозостойкости. Наибольшей морозостойкостью обладают резины на основе каучука СКН-18СНТ, выпускаемого Воронежским филиалом ФГУП «НИИСК», но этот каучук удовлетворяет запросы потребителей не в полной мере [1, 2].

Ранее в Воронежском филиале ФГУП «НИИСК» проводились исследовательские работы по возможности повышения морозостойкости БНК за счёт снижения содержания нитрила акриловой кислоты (НАК) до 12% масс. [3, 4], модифицирования полимера карбоксильными группами (до их содержания 0,3–0,5% мас.) [5, 6], введения пластификаторов [7, 8], наполнения каучука углеродными нанотрубками в количестве 0,05–0,1% мас. [9–20], введения в каучук 5–6% мас. комплекса сульфанола и лейканола с коагулянтом ВПК-402, но ни одно из этих направлений не дало положительного результата по всему комплексу физико-механических свойств.

Цель работы – определение оптимальных условий получения БНК, обеспечивающих повышение морозостойкости материалов на их основе при сохранении высокого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств.

Материалы и методы

В данной работе для повышения морозостойкости стандартных резин на основе БНК было применено два варианта модификации каучука СКН-18СНТ. По первому варианту, проводили сополимеризацию бутадиена и НАК при температуре 5–8°С и получали образцы каучука СКН-15СНТ с содержанием связанного НАК 14–16% мас. По второму варианту, сополимеризацию бутадиена и НАК проводили при температуре 18–20°С и получали образцы каучука СКН-20СНТ с содержанием связанного НАК 20–22% мас. Рецепт полимеризации и условия синтеза приведены в (таблица 1), кинетика процессов – на (рисунок 1).

Введение НАК при синтезе СКН-15СНТ и СКН-20СНТ осуществляли как в один приём, так и дробно (в четыре точки) по ходу полимеризации; кроме того, использовали дробное (в четыре точки) введение регулятора молекулярной массы – третичного додецилмеркаптана (ТДМ).

Опыты проводились на пилотной установке в реакторах объёмом 60 л с последующей отгонкой незаполимеризовавшихся мономеров и выделением каучука хлоридом натрия, полиэлектролитом и серной кислотой.

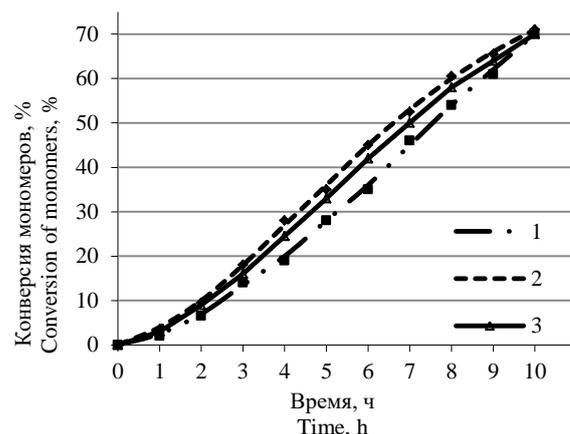


Рисунок 1. Кинетика полимеризации при получении образцов БНК с повышенной морозостойкостью: 1 – СКН-18СНТ; 2 – СКН-15СНТ; 3 – СКН-20СНТ

Figure 1. The kinetics of polymerization for the synthesis of the BNR samples with increased frost resistance: 1 – SKN-18SNT; 2 – SKN-15SNT; 3 – SKN-20SNT

Полученные образцы исследовали по ТУ 38.40375 2001 с изменением № 1. Их химические характеристики представлены в (таблица 2), физико-механические свойства – в (таблица 3).

Результаты и обсуждение

Физико-механические испытания показали, что вулканизат образца СКН-15СНТ, полученного при оптимальных условиях синтеза, имеет прочность при растяжении 22,7 МПа (при норме не менее 19,0 МПа), относительное удлинение при разрыве 485% (при норме не менее 450%) и коэффициент морозостойкости 0,84 (при норме не менее 0,33), однако набухание вулканизата в изооктан-толуоле (7:3) составляет 70% мас. (при норме не более 65% мас.). Низкая маслостойкость полученного образца вулканизата СКН-15СНТ требует использования дополнительных способов её повышения (например, за счёт регулируемого сшивания полимерных цепей дивинилбензолом на стадии полимеризации) и дальнейших исследований в этом направлении.

В ходе физико-механических испытаний было также установлено, что вулканизат образца СКН-20СНТ, полученного при оптимальных условиях синтеза, имеет прочность при растяжении 24,0 МПа (при норме не менее 19,0 МПа), относительное удлинение при разрыве 478% (при норме не менее 450%), коэффициент морозостойкости 0,61 (при норме не менее 0,33) и набухание в изооктан-толуоле 51% мас. (при норме не более 65% мас.). Высокие значения показателей качества полученного образца вулканизата СКН-20СНТ делают его перспективным для использования в изделиях, требующих сочетания повышенной морозостойкости и маслостойкости.

Таблица 1.

Рецепты полимеризации и условия получения образцов БНК

Table 1.

Polymerization recipe and BNR synthesis conditions

Наименование Name	СКН-18СНТ	СКН-15СНТ	СКН-20СНТ
	Контроль Control	Опыт Experiment	
Рецепт полимеризации Polymerization recipe			
Бутадиен Butadiene	87	89	81
Нитрил акриловой кислоты Acrylic acid nitrile	13	11	19
Вода умягченная Softened water	200	200	200
Сульфолол Sulfonol	3,0	3,0	3,0
Лейканол Lecanol	0,3	0,3	0,3
Сода кальцинированная Natrium carbonate	0,2	0,2	0,2
Железо сернокислое семиводное Ferrum(II) sulphate heptahydrate	0,005	0,004	0,005
Трилон «Б» Trilon B	0,010	0,008	0,010
Ронгалит Rongalite	0,10	0,10	0,10
Условия полимеризации Polymerization conditions			
Гидропероксид пинана (ГПП) Pinane hydroperoxide	0,001	0,02	0,001
Трет-додecilмеркаптан (ТДМ) (Tertiary-dodecylmercaptan)	0,12	0,20	0,20
Диэтилгидроксиламин (ДЭГА) Diethylhydroxilamine	0,3	0,3	0,3
Температура полимеризации, °С Polymerization temperature, °С	7–9	8–10	16–18
Конечная конверсия мономеров, % Final monomers conversion, %	70	70	71
Время полимеризации, ч Time of polymerization, h	9	10	10

Таблица 1.

Химические характеристики образцов БНК

Table 1.

Chemical characteristics of the BNR samples

Показатель Indicator	Нормы ТУ Norms of technical regulation	СКН-18СНТ	СКН-15СНТ	СКН-20СНТ
		Контроль Control	Опыт Experiment	
Содержание связанного НАК, % мас. Bonded AAN content, % mas.	17,0–19,5	18,2	15,2	20,1
Содержание нафтама-2, % мас. Naphtam-2 content, % mas.	2,0–3,0	2,5	2,4	2,6
Содержание легколетучих веществ, % мас. Volatile substances content, % mas.	≤0,6	0,05	0,18	0,16
Содержание золы, % мас. Ash Content, % mas.	≤0,4	0,16	0,4	0,35
Растворимость в метилэтилкетоне, % мас. Solubility in methylethylketone, % mas.	≥95	96,4	95,5	98,5

Таблица 2.

Физико-механические характеристики образцов БНК

Table 2.

Physico-mechanical characteristics of the BNR samples

Показатель Indicator	Нормы ТУ Norms of technical regulation	СКН-18СНТ	СКН-15СНТ	СКН-20СНТ
		Контроль Control	Опыт experiment	
Пласто-эластические свойства каучуков Plastoelastic properties of rubbers				
Вязкость каучука по Муни МВ ₁₊₄ (100 °С) Mooney MV ₁₊₄ viscosity	–	102	114	123
Жесткость каучука по Дефо, Н Rigidity by defometer, N	17,6–21,1	21,0	20,0	20,3
Эластическое восстановление, мм Elastic regeneration, mm	–	4,4	4,3	4,3
Оптимум вулканизации, мин Vulcanization optimum, min	–	40	30	30
Физико-механические показатели вулканизатов Physico-mechanical properties of vulcanizates				
Напряжение при 300% удлинении, МПа 300% elongation tension, МПа	–	9,9	9,7	10,8
Условная прочность при растяжении, МПа Conventional stretching strength, МПа	≥19,0	26,3	22,7	24,0
Относительное удлинение при разрыве, % Relative elongation before ripping, %	≥450	500	485	478
Относительная остаточная деформация, % Relative remaining deformation	–	10	11	10
Изменение массы вулканизата в изооктан-толуоле (7:3), % мас. Change of vulcanizate mass in isoctane-toluene (7:3), % mass	≤65	63,8	70,0	47,2
Коэффициент морозостойкости при – 25 °С Coefficient of frost-resistance in 25 °С	≥0,33	0,43	0,64	0,61
Температура хрупкости, °С Fragility temperature, °С	–	-76	-68	-61

Заключение

Наиболее перспективными для создания морозомаслобензостойких изделий являются каучуки и вулканизаты СКН-20СНТ. Повышение маслобензостойкости морозостойких каучуков и вулканизатов СКН-15СНТ может быть реализовано за счёт регулируемого сшивания полимерных цепей каучука на стадии полимеризации.

Продолжением данной работы станут расширенные испытания опытных образцов СКН-15СНТ и СКН-20СНТ с целью определения таких показателей, как температура стеклования, средняя молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение, степень полидисперсности, содержание геля, композиционная однородность и др.

Литература

- 1 Соколова М.Д. Проблемы эксплуатации РТИ в арктических условиях // Каучук и резина – 2018: традиции и новации: материалы докладов VIII Всероссийской конференции, Москва, 25–26 апреля, 2018. С. 56–57.
- 2 Комаров Е.В., Папков В.Н., Глуховской В.С. и др. Анализ состояния производства каучуков эмульсионной полимеризации и научно-исследовательские работы по синтезу новых каучуков и латексов // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии: XXVI Научно-практическая конференция, Москва, 24–28 мая, 2021. С. 13–16.
- 3 Папков В.Н., Юрьев А.Н. Большой справочник резинщика. Часть 1. М.: Техинформ, 2012. С. 192–209.
- 4 Папков В.Н., Гусев Ю.К., Ривин Э.М. и др. Бутадиен-нитрильные каучуки, синтез и свойства. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 2014. 218 с.
- 5 Чайкун А.М., Елисеев О.А., Наумов И.С., Венедиктова М.А. Особенности морозостойких резин на основе различных каучуков // Труды ВИАМ. 2013. №. 12.
- 6 Папков В.Н., Блинов Е.В., Глуховской В.С. и др. Научно-исследовательские работы по синтезу полимеров эмульсионной и растворной полимеризации // Каучук и резина – 2018: традиции и новации: материалы докладов VIII Всероссийской конференции, Москва, 25–26 апреля, 2018. 65 с.
- 7 Юрченко А.Ю., Морозов Ю.Л., Рахматулин Т.Т., Емельянов С.В. Пути улучшения свойств резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков для производства рукавов // Каучук и резина. 2018. Т. 77. №. 1. С. 58–61.
- 8 Кольцов Н.И., Ушмарин Н.Ф., Исакова С.А. и др. Комбинации пластификаторов с наполнителями для повышения морозостойкости резин // Бутлеровские сообщения. 2012. Т. 29. № 3. С. 86–91.
- 9 Папков В.Н., Борейко Н.П., Возняковский А.П. и др. Изучение свойств каучуков, наполненных углеродными нанотрубками // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии: XXI Научно-практическая конференция, Москва, 31 мая – 3 июня, 2016. 28 с.
- 10 Шадринов Н.В., Халдеева А.Р., Павлова Л.В. Влияние одностенных углеродных нанотрубок на механические и деформационные свойства бутадиен-нитрильной резины // Перспективные материалы. 2017. № 6. С. 50–59.
- 11 Вишневский К.В., Шашок Ж.С. Использование высокодисперсной углеродной добавки в эластомерных композициях на основе каучуков различного назначения // Труды БГТУ. 2012. № 4. С. 56–60.
- 12 Shadrinov N.V., Sokolova M.D., Okhlopko A.A., Lee J. et al. Enhancement of compatibility between ultrahigh-molecular-weight polyethylene particles and butadiene-nitrile rubber matrix with nanoscale ceramic particles and characterization of evolving layer // Bulletin of the Korean Chemical Society. 2013. V. 34. №. 12. P. 3762-3766. doi: 10.5012/BKCS.2013.34.12.3762
- 13 Petrova N.N., Portnyagina V.V., Mukhin V.V., Shim E.L. et al. Preparation and improved physical characteristics of propylene oxide rubber composites // Molecules. 2018. V. 23. №. 9. P. 2150. doi: 10.3390/molecules23092150
- 14 Viacheslav T., Mykola K., Yurii S., Serhii Z. et al. Modification of Specialty Rubbers by Carbon Nanomaterials // International Journal of Materials Science and Applications. 2019. V. 8. №. 6. P. 135. doi: 10.11648/j.ijmsa.20190806.17
- 15 Shadrinov N.V., Nartakhova S.I. Structure and properties of nitrile-butadiene rubber filled with carbon and basalt fibers // Inorganic Materials: Applied Research. 2017. V. 8. №. 1. P. 140-144. doi: 10.1134/S207511331701035X
- 16 Sokolova M.D., Fedorova A.F., Pavlova V.V. Research of influence of plasticizers on the low-temperature and mechanical properties of rubbers // Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2019. V. 945. P. 459-464. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.459
- 17 Haldeeva A.R., Davydova M.L., Sokolova M.D. Development of frost-resistant rubber based on epichlorohydrin rubber of Hydrin T6000 brand // Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2019. V. 945. P. 356-361. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.356
- 18 Sevost'yanova K.A., Omasheva A.V., Baikenov M.I., Tazhbaev E.M. Effect of coal tar on the properties of butadiene-nitrile rubbers // Solid Fuel Chemistry. 2016. V. 50. №. 6. P. 376-380. doi: 10.3103/S0361521916060094
- 19 Pavlova V.V., Sokolova M.D., Fedorova A.F. Influence of the Content and Nature of the Plasticizer on the Properties of Butadiene-Nitrile Rubber // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2021. V. 14. №. 2. P. 222-232. doi:10.17516/1999-494X-0303
- 20 Petrova N.N., Lee J., Portnyagina V.V., Jeong D.Y. et al. Antiswelling and Frost-resistant Properties of a Zeolite-modified Rubber Mechanical Seal at Low Temperature // Bulletin of the Korean Chemical Society. 2015. V. 36. №. 2. P. 464-467. doi: 10.1002/bkcs.10075

References

- 1 Sokolova M.D. Problems of RTI operation in arctic conditions. Rubber and rubber - 2018: traditions and innovations: materials of reports of the VIII All-Russian conference, Moscow, April 25–26, 2018. pp. 56–57. (in Russian).
- 2 Komarov E.V., Papkov V.N., Glukhovskoy V.S. et al. Analysis of the state of production of emulsion polymerization rubbers and research work on the synthesis of new rubbers and latexes. Rubber industry: raw materials, materials, technologies: XXVI Scientific and Practical Conference, Moscow, May 24–28, 2021. pp. 13–16. (in Russian).
- 3 Papkov V.N., Yuriev A.N. The Great Rubberman's Handbook. Part 1. Moscow, Tekhinform, 2012. pp. 192–209. (in Russian).
- 4 Papkov V.N., Gusev Yu.K., Rivin E.M. and other Butadiene-nitrile rubbers, synthesis and properties. Voronezh, FGBOU VPO "Voronezh State University of Engineering Technologies", 2014. 218 p. (in Russian).
- 5 Chaikun A.M., Eliseev O.A., Naumov I.S., Venediktova M.A. Features of frost-resistant rubbers based on various rubbers. Proceedings of VIAM. 2013. no. 12. (in Russian).
- 6 Papkov V.N., Blinov E.V., Glukhovskoy V.S. et al. Research work on the synthesis of polymers of emulsion and solution polymerization. Rubber and rubber - 2018: traditions and innovations: materials of reports of the VIII All-Russian conference, Moscow, April 25–26, 2018. 65 p. (in Russian).
- 7 Yurchenko A.Yu., Morozov Yu.L., Rakhmatulin T.T., Emelyanov S.V. Ways to improve the properties of rubber mixtures based on butadiene-nitrile rubbers for the production of sleeves. Kauchuk i rezina. 2018. vol. 77. no. 1. pp. 58-61. (in Russian).
- 8 Koltsov N.I., Ushmarin N.F., Isakova S.A. et al. Combinations of plasticizers with fillers to improve the frost resistance of rubber. Butlerovskie communications. 2012. vol. 29. no. 3. pp. 86–91. (in Russian).
- 9 Papkov V.N., Boreiko N.P., Voznyakovskiy A.P. Study of the properties of rubbers filled with carbon nanotubes. Rubber industry: raw materials, materials, technologies: XXI Scientific and Practical Conference, Moscow, May 31 - June 3, 2016. 28 p. (in Russian).
- 10 Shadrinov N.V., Khaldeeva A.R., Pavlova L.V. Influence of single-walled carbon nanotubes on the mechanical and deformation properties of butadiene-nitrile rubber. Perspektivnye materialy. 2017. no. 6. pp. 50–59. (in Russian).
- 11 Vishnevsky K.V., Shashok Zh.S. The use of a highly dispersed carbon additive in elastomeric compositions based on rubbers for various purposes. Proceedings of BSTU. 2012. no. 4. pp. 56–60. (in Russian).
- 12 Shadrinov N.V., Sokolova M.D., Okhlopokova A.A., Lee J. et al. Enhancement of compatibility between ultrahigh-Molecular-Weight polyethylene particles and butadiene-Nitrile rubber matrix with nanoscale ceramic particles and characterization of evolving layer. Bulletin of the Korean Chemical Society. 2013. vol. 34. no. 12. pp. 3762-3766. doi: 10.5012/BKCS.2013.34.12.3762
- 13 Petrova N.N., Portnyagina V.V., Mukhin V.V., Shim E.L. et al. Preparation and improved physical characteristics of propylene oxide rubber composites. Molecules. 2018. vol. 23. no. 9. pp. 2150. doi: 10.3390/molecules23092150
- 14 Viacheslav T., Mykola K., Yurii S., Serhii Z. et al. Modification of Specialty Rubbers by Carbon Nanomaterials. International Journal of Materials Science and Applications. 2019. vol. 8. no. 6. pp. 135. doi: 10.11648/j.ijmsa.20190806.17
- 15 Shadrinov N.V., Nartakhova S.I. Structure and properties of nitrile-butadiene rubber filled with carbon and basalt fibers. Inorganic Materials: Applied Research. 2017. vol. 8. no. 1. pp. 140-144. doi: 10.1134/S207511331701035X
- 16 Sokolova M.D., Fedorova A.F., Pavlova V.V. Research of influence of plasticizers on the low-temperature and mechanical properties of rubbers. Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2019. vol. 945. pp. 459-464. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.459
- 17 Haldeeva A.R., Davydova M.L., Sokolova M.D. Development of frost-resistant rubber based on epichlorohydrin rubber of Hydrin T6000 brand. Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2019. vol. 945. pp. 356-361. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.356
- 18 Sevost'yanova K.A., Omasheva A.V., Baikenov M.I., Tazhbaev E.M. Effect of coal tar on the properties of butadiene-nitrile rubbers. Solid Fuel Chemistry. 2016. vol. 50. no. 6. pp. 376-380. doi: 10.3103/S0361521916060094
- 19 Pavlova V.V., Sokolova M.D., Fedorova A.F. Influence of the Content and Nature of the Plasticizer on the Properties of Butadiene-Nitrile Rubber. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2021. vol. 14. no. 2. pp. 222-232. doi:10.17516/1999-494X-0303
- 20 Petrova N.N., Lee J., Portnyagina V.V., Jeong D.Y. et al. Antiswelling and Frost-resistant Properties of a Zeolite-modified Rubber Mechanical Seal at Low Temperature. Bulletin of the Korean Chemical Society. 2015. vol. 36. no. 2. pp. 464-467. doi: 10.1002/bkcs.10075

Сведения об авторах

Валерий Н. Панков к.т.н., Воронежский филиал научно-исследовательского института синтетического каучука им. акад. С.В. Лебедева, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, vfniisk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9804-9846>

Александр Н. Юрьев к.х.н., Воронежский филиал научно-исследовательского института синтетического каучука им. акад. С.В. Лебедева, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, vfniisk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7884-1331>

Information about authors

Valery N. Papkov Cand. Sci. (Engin.), Voronezh Department of S.V. Lebedev Research Institute of Synthetic Rubber, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, vfniisk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9804-9846>

Alexandr N. Yuriev Cand. Sci. (Chem.), Voronezh Department of S.V. Lebedev Research Institute of Synthetic Rubber, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, vfniisk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7884-1331>

Александр М. Скачков научный сотрудник, Воронежский филиал научно-исследовательского института синтетического каучука им. акад. С.В. Лебедева, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, tankkv-2@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6827-6933>

Денис А. Роднянский научный сотрудник, Воронежский филиал научно-исследовательского института синтетического каучука им. акад. С.В. Лебедева, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, denislqbb@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5418-1682>

Нина И. Щелушкина научный сотрудник, Воронежский филиал научно-исследовательского института синтетического каучука им. акад. С.В. Лебедева, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, vfniisk@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0679-9760>

Alexandr M. Skachkov researcher, Voronezh Department of S.V. Lebedev Research Institute of Synthetic Rubber, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, tankkv-2@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6827-6933>

Denis A. Rodnyansky researcher, Voronezh Department of S.V. Lebedev Research Institute of Synthetic Rubber, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, denislqbb@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5418-1682>

Nina I. Schelushkina researcher, Voronezh Department of S.V. Lebedev Research Institute of Synthetic Rubber, Mendeleeva St., 3b, Voronezh, 394014, Russia, vfniisk@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0679-9760>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/12/2021	После редакции 31/01/2022	Принята в печать 24/02/2022
Received 22/12/2021	Accepted in revised 31/01/2022	Accepted 24/02/2022