

Перспективы разработки топливостойких эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом

Анна С. Пушница	¹	apushnitsa@inbox.ru	 0000-0003-4417-4371
Валерий В. Власов	²	ganghubas@mail.ru	 0000-0003-1057-8167
Александр С. Москалев	³	kaf-tospp@vsuet.ru	 0000-0002-3403-3850

1 МИРЭА – Российский технологический университет, Малая Пироговская, д.1, стр.5, г. Москва, 119435, Россия

2 Ярославский государственный технический университет, пр-т Московский, 88, г. Ярославль, 150023, Россия

3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Полимерные материалы с низкотемпературными характеристиками должны обеспечивать надежность техники, конструкций и сооружений при воздействии как внешних, так и внутренних факторов способных разрушить материал. Анализируя научно-техническую литературу в области материаловедения, в частности эластомерных материалов работоспособных в различных углеводородных средах в условиях холодного климата, принято решение продолжать исследования направленные на повышение морозостойкости и долговечности эластомерных материалов стойких к топливу. В работе описаны результаты исследования бутадиен-нитрильных каучуков путем модификации агентами вулканизации и полимерными добавками, с целью улучшения комплекса эксплуатационных свойств эластомерных материалов уплотнительного назначения. Исследованы свойства вулканизатов стандартных резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков с различным содержанием нитрилакриловой кислоты. В качестве агентов вулканизации были выбраны органический пероксид 2-ди-(2-третбутилпероксиизопропил) - бензол торговой марки Luperox F-40 и комбинация серы с ускорителем. Определены их реологические свойства в зависимости от вида вулканизирующего агента. Изучены физико-механических и низкотемпературных свойств полученных вулканизатов. Проведено исследование влияния вида вулканизирующего агента в резиновой смеси на основе полярных каучуков на низкотемпературные свойства вулканизатов. Исследованы рецептуры резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука, модифицированных полукристаллическим и стирол-бутилен-стирольного блок-сополимера для повышения низкотемпературных свойств. Изучены физико-механических свойства полученных материалов. Предложены рецептурно-технологические решения, обеспечивающие повышение морозостойкости полимерных композиционных материалов на основе эластомеров, эксплуатируемых в условиях низких температур. Исследования, направленные на разработку новых методов модификации эластомерных материалов на основе БНК, позволяют эффективно решать проблемы создания многофункциональных резин для регионов с холодным климатом.

Ключевые слова: морозостойкость, эластомерные материалы, масло-, бензостойкость, бутадиен-нитрильный каучук, надежность

Potential for development of fuel-resistant elastomeric materials for use in regions with severe climate conditions

Anna S. Pushnitsa	¹	apushnitsa@inbox.ru	 0000-0003-4417-4371
Valeriy V. Vlasov	²	ganghubas@mail.ru	 0000-0003-1057-8167
Alexandr S. Moskaev	³	kaf-tospp@vsuet.ru	 0000-0002-3403-3850

1 MIREA - Russian Technological University, Malaya Pirogovskaya, 1, p. 5, Mos-cow, 119435, Russia

2 Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia

3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Polymer materials with low-temperature characteristics must ensure the reliability of machinery, structures and structures when exposed to both external and internal factors capable of destroying the material. Analyzing the scientific and technical literature in the field of materials science, in particular elastomeric materials that can work in various hydrocarbon environments in cold climates, it was decided to continue research aimed at increasing the frost resistance and durability of elastomeric materials resistant to fuel. The paper describes the results of a study of nitrile butadiene rubbers by modification with vulcanization agents and polymer additives in order to improve the complex of operational properties of elastomeric sealing materials. The properties of vulcanizates of standard rubber compounds based on butadiene-nitrile rubbers with different contents of nitrilacrylic acid are investigated. Organic 2-di-(2-tretbutylperoxyisopropyl)-benzene peroxide of the Luperox F-40 trademark and a combination of sulfur with an accelerator were selected as vulcanization agents. Their rheological properties are determined depending on the type of vulcanizing agent. The physicomachanical and low-temperature properties of the obtained vulcanizates have been studied. The effect of a type of vulcanizing agent in a rubber compound based on polar rubbers on the low-temperature properties of vulcanizates has been studied. Formulations of rubber compounds based on butadiene-nitrile rubber modified with semi-crystalline and styrene-butylene-styrene block copolymer for increasing low-temperature properties are studied. The physicomachanical properties of the obtained materials have been studied. Formulation and technological solutions are proposed to increase the frost resistance of polymer composite materials based on elastomers operated at low temperatures. Research aimed at developing new methods for modifying elastomeric materials based on BNC will effectively solve the problems of creating multifunctional rubbers for regions with a cold climate.

Keywords: frost resistance, elastomeric materials, oil and gasoline resistance, nitrile butadiene rubber, reliability.

Для цитирования

Пушница А.С., Власов В.В., Москалев А.С. Перспективы разработки топливостойких эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 227–234. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-227-234

For citation

Pushnitsa A.S., Vlasov V.V., Moskaev A.S. Potential for development of fuel-resistant elastomeric materials for use in regions with severe climate conditions. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 227–234. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-227-234

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

Введение

Внимание к развитию регионов с холодным климатом, уделяется по причинам безопасности государства и экономическому росту. Развитие требует решения задач, связанных с экономическими, природными, научно-техническими и другими факторами. Научно-технический фактор в области арктического материаловедения во многом определяет состояние развития регионов с холодным климатом. Обзоры [1–3] академика В.М. Бузника и соавторов посвящены истории и тенденциям развития арктического материаловедения, в которых показана актуальность исследований в области повышения морозостойкости эластомерных материалов.

Согласно определению академика И.В. Тананаева, материалы – это химические вещества со свойствами, обеспечивающими их практическое применение. Материалы, должны не только обеспечивать практическое применение, но и обеспечивать долговечность эксплуатационного ресурса для обеспечения надежности техники, особенно в условиях холодного климата. Регионы с холодным климатом подвержены перепадом температур от минус 30 до 0 °C за сутки в осенне-весенний период и длительному снижению температуры воздуха до минус 60 °C в зимний период; высокой влажности, сильному ветру и УФ-излучению в летний период.

Полимерные материалы с низкотемпературными характеристиками должны обеспечивать надежность техники, конструкций и сооружений при воздействии как внешних, так и внутренних факторов способных разрушить материал. В работах, посвященных арктическому материаловедению [1, 2] особое внимание уделяется вопросу надежности изделий изготовленных с применением полимерных композиционных материалов, поскольку способность материалов длительное время сохранять эксплуатационные свойства и работать безаварийно является одним из ключевых требований при создании функциональных материалов, эксплуатируемых в условиях холодного климата.

В обзоре [1], приведено распределение эластомерных материалов по отраслям. С указанием на то, что полимерные композиционные материалы, в частности морозо-, масло-, бензостойкие эластомерные материалы, необходимы для развития полярной авиации, морских и речных судов, наземного транспорта и геологоразведочной техники, а также специальных видов техники для добычи и транспортировки углеводородов и минерального сырья.

На данном этапе создание полимерных композиционных материалов, которые составляют не менее 10% от общего числа материалов для регионов с холодным климатом, качественно переходит на новый уровень. В связи с чем

увеличивается количество работ, посвященных исследованиям по созданию «smart materials», по компатибилизации полимеров на границе раздела фаз термодинамически несовместимых полимеров, математическому моделированию структурирования при различных условиях вулканизации и др., а также эффективным методам оценки эксплуатационных свойств материалов [4].

При этом, в настоящее время, для научно-технических специалистов импортозамещение стоит во главе при выборе полимерной матрицы и функциональных добавок для создания полимерных композиционных материалов, отвечающим долговечности в условиях эксплуатации и технологичности.

Так, например, для создания морозостойких резин уплотнительного назначения, стойких к воздействию топлива, проводили исследования эластомерных материалов на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков [8], эпихлоргидриновых и пропиленоксидных, которые обладают лучшими низкотемпературными характеристиками и стойкостью к агрессивным средам [5, 11, 13–18]. Однако, результаты проведенных исследований не нашли распространеного практического применения поскольку, целевые ингредиенты исследованных эластомерных материалов выпускаются в основном за пределами РФ.

В РФ выпускаются фторсилоксановые и бутадиен-нитрильные каучуки, которые обладают стойкостью к низким температурам и топливу. Фторсилоксановые эластомерные материалы могут длительное время эксплуатироваться на воздухе в широком интервале температур при контакте с различными видами топлива, но их стоимость накладывает ограничение для многих отраслей промышленности. [22–24]. Бутадиен-нитрильные каучуки уступают фторсилоксановым по температурному интервалу эксплуатации, при этом они значительно дешевле и имеют потенциал к различным видам модификации.

Известно, что к авиационным материалам предъявляются более жесткие требования к эксплуатационным свойствам и долговечности материалов. Поэтому уплотнительные элементы для авиационной техники, обладающие низкотемпературными характеристиками и масло-, бензостойкостью изготавливаются на отечественных фторсилоксановых эластомерных материалах.

Увеличение [6–12] научно-практических работ, направленных на исследование и разработку новых методов модификации эластомеров на основе бутадиен-нитрильных каучуков с целью улучшения эксплуатационных характеристик и долговечности резин на их основе, обосновано их разнообразием на отечественном рынке. ПАО «СИБУР Холдинг» производит бутадиен-нитрильные каучуки с различным содержанием НАК (нитрилакриловой кислоты)

от 18 до 40% [25]. Публикации, посвященные исследованиям резин на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков, имеют место, так как в них демонстрируются преимущества эксплуатационных свойств по отношению к бутадиен-нитрильным каучукам.

Эластомерные материалы на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков обладают озоно-, термостойкостью, а также, что важно высокой морозостойкостью в сочетании с устойчивостью к действию различных углеводородных сред [19–21]. На рисунке 1 представлено строение макромолекул, с увеличением количества полярных групп в боковых ответвлениях улучшается стойкость к углеводородным средам и снижается морозостойкость.

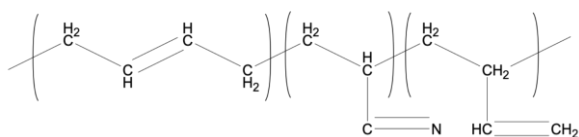


Рисунок 1. Структурная формула бутадиен-нитрильного каучука

Figure 1. Structural formula of butadiene-nitrile rubber

Эластомерные материалы, изготовленные с применением ГБНК и БНК, нашли широкое распространение в качестве уплотнительных элементов в различных транспортных наземных системах, и насосных станций, поскольку, они обеспечивают достаточный уровень стойкости к маслам и низким температурам до минус 50 °С.

Анализируя научно-техническую литературу в области материаловедения, в частности эластомерных материалов работоспособных в различных углеводородных средах в условиях холодного климата, принято решение продолжать исследования направленные на повышение морозостойкости и долговечности эластомерных материалов стойких к топливу. Исследования направленные на разработку новых методов модификации эластомерных материалов на основе БНК позволят эффективно решать проблемы материаловедения по долговечности эксплуатационного.

Цель работы – изучение комплекса свойств эластомерных материалов, предъявляемых к уплотнительным материалам, предназначенным для изготовления различных уплотнительных элементов техники и конструкций, контактирующих с агрессивными средами в условиях холодного климата.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования приготовлены резиновые смеси на основе бутадиен-нитрильных каучуков по стандартной рецептуре. Все модельные смеси готовили на лабораторных смесительных вальцах в одном температурном режиме.

Затем согласно стандартным методам испытания [26] изучали кинетику вулканизации и влияние различных агентов вулканизации на эксплуатационные свойства модельных образцов. Вулканизационные характеристики определяли с помощью реометра MDR 3000. В качестве агентов вулканизации были выбраны органический пероксид 2ди-(2-третбутилпероксиизопропил) – бензол торговой марки Luperox F-40 и комбинация серы с ускорителем.

В качестве модифицирующей добавки изучили полукристаллический сополимер этилена и пропилена под торговой маркой Vistamaxx 6102, а также термоэластопластичный стирол-этилен-бутилен-стирольный блок-сополимер.

Резиновые смеси содержали БНКС-40 АМН, технический углерод П-324, стеариновую кислоту, оксид цинка с варьированием содержания органического пероксида 1, 2, 3, 5, 8 и 10 масс. частей на 100 масс. частей каучука, а также смесь сравнения на серной вулканизирующей системе. Рецептуры опытных резиновых смесей представлены в таблице 1., результаты их испытаний – в таблице 2.

Кроме того, в ходе эксперимента было изучено влияние предварительной механоактивации гранул пероксида путем измельчения на свойства готового материала.

Таблица 1.

Рецептуры опытных резиновых смесей

Table 1.

Formulations of experimental rubber compounds

Ингредиент Ingredient	Шифры образцов и содержание ингредиентов, масс. ч. Sample codes and ingredient content, phr						
	3П-1	3П-2	3П-3	3П-5	3П-8	3П-10	2С
БНКС-40АМН BNKS-40AMN rubber	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Оксид цинка Zinc oxide	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0
Luperox F40	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0	10,0	
Стеарин Stearic acid	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Серa Sulfur	-	-	-	-	-	-	1,5
Сульфенамид Ц Accelerator CBS	-	-	-	-	-	-	0,7
Техуглерод П324 (N330) Carbon black П324 (N330)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Итого Total	147,0	148,0	149,0	151,0	154,0	156,0	146,2

Результаты испытаний опытных резиновых смесей

Table 2.

Test results of experimental rubber compounds

Показатели Indicators	Шифры образцов и значение показателей Sample codes and value of indicators						
	3П-1	3П-2	3П-3	3П-5	3П-8	3П-10	2С
Температура вулканизации, °C Vulcanization temperature, °C	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0
Время оптимума вулканизации, мин Optimum vulcanization, min	26,0	26,0	26,00	26,0	26,0	26,0	21,0
Условная прочность при растяжении, МПа Conditional tensile strength, MPa	15,9	23,8	22,5	20,7	14,8	9,1	24,1
Условное напряжение при удлинении 100%, МПа Nominal elongation tension of 100%, MPa	1,9	2,8	3,7	5,9	8,9	-	3,9
Относительное удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	850,0	600,0	420,0	250,0	150,0	90,0	450,0
Относительное остаточное удлинение, % Relative residual elongation, %	60	20	8	4	0	0	8,0
Твердость Шор А Shore A Hardness	57–60	59–63	65–67	69–71	75–77	77–80	67–70
Т хрупкости °C fragility temperature °C	-45	-51	-56	-59	-52	-51	-50,0
ОДС 20%, 100°C, 72 ч. residual compression deformation 20%, 100°C, 72 ч	71,5	63,1	57,4	36,1	36,6	39,6	74,1
Набухание в СЖР-3, 24 ч 100°C, % Swelling in CZHR-3, 24h 100°C, %	-	-	-	7,4	-	-	8,8
Объемная доля каучука в набухшем вулканизате Volume fraction of rubber in the swollen vulcanizate	0,066	0,108	0,139	0,187	0,236	0,256	0,140
Равновесная степень набухания Balanced degree of swelling	14,198	8,237	6,198	4,341	3,252	0,256	6,124

Таблица 3.

Физико-механические свойства вулканизатов

Table 3.

Physico-mechanical properties of vulcanizates

Показатели Indicators	Шифры образцов Sample codes					
	2С	2СВ5	2СВ10	3П	3ПВ5	3ПВ10
Условная прочность при растяжении, МПа Conditional tensile strength, MPa	21,0	29,4	19,4	26,0	16,5	28,5
Относительное удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	450	410	410	250	200	290
Твердость по Шору А усл. ед. Shore A Hardness	67–70	67–70	67–670	69–71	67–68	63–65
Стойкость к агрессивным средам СЖР-3 24 ч, 100 °C Swelling in CZHR-3, 24h 100°C, %	8,8	9,9	-	7,4	-	11,9
Т хрупкости °C fragility temperature °C	-50	-	-	-51	-	-

Благодаря дополнительной механоактивации пероксида перед введением его в резиновую смесь наблюдается уменьшение температурного предела хрупкости вулканизатов.

Для выбранной модельной смеси значительно улучшились показатели температурного предела хрупкости и ОДС. Оптимальная дозировка составила от 3 до 5 масс. ч. пероксида. Также установлено, что при его дозировке 3 масс. части, вулканизаты демонстрируют комплекс физико-механических свойств, находящийся практически на одном уровне с вулканизатами в присутствии серы.

Для изучения влияния ранее не применявшийся для модификации эластомерных композиций технологической добавки – полукристаллического со-полимера этилена и пропилена под торговой маркой Vistamaxx 6102 с варьированием от 5 до 10 масс. ч., В качестве

модельных смесей были выбраны смесь с содержанием органического пероксида 5 масс. частей и смесь содержащая серную вулканизирующую группу.

Модификация стандартной резиновой смеси на основе БНКС-40 показывает, что введение Vistamaxx 6102 в дозировках от 5 до 10 масс. ч. оказывает влияние на физико-механические показатели. При его введении в количестве 5 масс. ч. с вулканизирующей группой, содержащей серу, происходит повышение показателя условной прочности на разрыв с 21,0 МПа до 29,4 МПа, но снижается относительное удлинение с 450 до 410%. Твёрдость по Шору А остается почти без изменений на уровне 67–70 усл. ед.

При вулканизации резиновой смеси пероксидом Luperox F-40, при дозировке Vistamaxx 6102 в количестве 10 масс. ч., наблюдается незначительное увеличение показателя

условной прочности при растяжении с 26,0 до 28,5 МПа и относительного удлинения с 250 до 290%. При том, что твердость по Шору А снижается в пределах нескольких единиц до 63–65 усл. ед. Также установлено незначительное повышение стойкости к агрессивным средам при введении Vistamaxx 6102 в сочетании с дибутилсебагинатом по сравнению с исходной смесью (среда СЖР-3, температура 100 °С, экспозиция 24 ч).

Для повышения низкотемпературных свойств резин на основе нитрильных каучуков, было исследовано влияние технологической добавки – стирол-этилен-бутилен-стирольного сополимера (СЭБС). Экспериментальные рецептуры резиновых смесей, представленные в таблице 4. Физико-механические свойства вулканизатов представлены в таблице 5.

Таблица 4.

Состав резиновых смесей

Table 4.

Composition of rubber compounds

Ингредиент Ingredient	Шифры образцов и содержание ингредиентов, масс. ч. Sample codes and ingredient content, phr					
	18	28	40	18П	28П	40П
Каучук БНКС-40АМН Rubber BNKS-40AMN	-	-	100,0	-	-	100,0
БНКС-28АМН Rubber BNKS-28AMN	-	100,0	-	-	100,0	-
БНКС-18АМН Rubber BNKS-18AMN	100,0	-	-	100,0	-	-
Белила цинковые Zinc oxide	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Luperox F-40	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0
Стеариновая кислота Stearic acid	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Технологическая добавка СЭБС Technological additive SEBS	20,0	20,0	20,0	-	-	-
Дибутилсебагинат Dibutyl sebacate	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Технический углерод П324 (N330) Carbon black П324 (N330)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Итого Total	179,0	179,0	179,0	151,0	151,0	151,0

Таблица 5.

Физико-механические свойства вулканизатов (Режим вулканизации 160 °С × 26 мин)

Table 5.

Physico-mechanical properties of vulcanizates (Vulcanization mode 160 °С × 26 min)

Показатели Indicators	Шифры образцов и значение показателей Sample codes and value of indicators					
	18	28	40	18П	28П	40П
Условная прочность при растяжении, МПа Conditional tensile strength, MPa	10,4	13,5	17,1	7,6	13,1	20,7
Условное напряжение МПа, при удлинении 50% Nominal elongation tension of 50%, MPa	1,6	1,5	1,4	3,5	3,2	5,9
Условное напряжение МПа, при удлинении 100% Nominal elongation tension of 100%, MPa	2,9	2,6	2,4	7,4	6,7	14,6
Относительное удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	280,0	350,0	460,0	105,0	170,0	250,0
Твердость ШОРА Shore A Hardness	62–64	62–63	61–63	63–66	65–67	67–69
Т хрупкости °С fragility temperature °С	-53	-46	-37	-71	-71	-59
ОДС 20%, 100°С, 72 ч. residual compression deformation 20%, 100°С, 72 ч	-	-	-	31,7	35,9	36,1
Стойкость к агрессивным средам СЖР – 3 24 ч 100°С, % Swelling in CZHR-3, 24h 100°С, %	45,6	20,6	10,2	37,3	15,9	7,4
Объемная доля каучука в набухшем вулканизате Volume fraction of rubber in the swollen vulcanizate	-	-	-	-	-	0,187
Равновесная степень набухания Balanced degree of swelling	-	-	-	-	-	4,341
Коэффициент морозостойкости Coefficient of frost resistance Кв при -45 °С / K at -45 °С Кв при -25 °С / K at -45 °С	0,46	0,07	0,15	0,20 0,82	0,17 0,59	0,11

Закключение

В результате проделанной работы достигнуты следующие результаты:

Исследованы свойства вулканизатов стандартных резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков с различным содержанием нитрилакриловой кислоты. Определены их реологических свойств в зависимости от вида вулканизирующего агента. Изучены физико-механических и низкотемпературных свойств полученных вулканизатов.

Проведено исследование влияния вида вулканизирующего агента в резиновой смеси на

основе полярных каучуков на низкотемпературные свойства вулканизатов.

Исследованы рецептуры резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука, модифицированных полукристаллическим и стирол-бутилен-стирольного блок-сополимера. Изучены физико-механических свойства полученных материалов.

Предложены рецептурно-технологические решения, обеспечивающие повышение морозостойкости полимерных композиционных материалов на основе эластомеров, эксплуатируемых в условиях низких температур

Литература

- Бузник В.М., Бурковская Н.П., Зибарева И.В. Арктическое материаловедение. 2018. № 3. С. 44.
- Рогозин Д.О. Северный полюс будет обустроен и заселен // Российская Федерация сегодня. 2016. № 12. С. 36.
- Бузник В.М., Василевич Н.И. Материалы для освоения арктических территорий-вызовы и решения // Лаборатория и производство. 2020. № 1. С. 98–107.
- Лепов В.В., Охлопкова А.А. Разработки в области северного и арктического материаловедения для промышленности Республики Саха (Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28. № 4. С. 627–640. doi:10.31242/2618-9712-2023-28-4-627-640
- Павлова В.В., Соколова М.Д. Исследование влияния пластификаторов на эксплуатационные свойства резин на основе эписхлоргидринового каучука // Новые материалы и технологии в условиях Арктики. 2022. С. 185.
- Павлова В.В., Соколова М.Д., Федорова А.Ф. Влияние содержания и природы пластификатора на свойства бутадиен-нитрильной резины // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2021. Т. 14. № 2. С. 222–232.
- Павлова В.В., Федорова А.Ф., Соколова М.Д. Исследование влияния ДОФ и ДОТФ на эксплуатационные свойства резин на основе бутадиен-нитрильного каучука // Вклад ДИ Менделеева в развитие фундаментальных наук, в углубление и расширение образования для устойчивого развития. 2019. С. 209–212.
- Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. № 8. С. 60–64.
- Прокопьев А.М. Исследование климатического старения резин на основе фторкаучука и смесей бутадиен-нитрильного и диеновых каучуков // Редакционная коллегия. 2022. С. 918.
- Боброва И.И., Котова С.В., Наумова Ю.А. Влияние экологических масел Фитонорман на адгезионные свойства морозостойких резин на основе бутадиен-нитрильного каучука // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 2. С. 189–197.
- Мухин В.В., Петрова Н.Н., Маскалюнайте О.Е. Сравнительная оценка климатической стойкости резин на основе эписхлоргидринового и бутадиен-нитрильного каучука // механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций. 2018. С. 252–253.
- Нагорная М.Н. Влияние пластификаторов на свойства маслобензоморозостойких резин // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. 2022. С. 121–122.
- Петрова, Н.Н., Портнягина В.В. Влияние размера частиц и концентрации фторсодержащего полимера на свойства морозостойких резин на основе пропиленоксидного каучука // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25. № 1. С. 101–117. doi:10.31242/2618-9712-2020-25-1-11
- Резников М.С., Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Сандалов С.И. Исследование влияния технологических добавок на свойства резин на основе эписхлоргидриновых и пропиленоксидных каучуков // Каучук и резина. 2016. № 1. С. 18–21.
- Ушмарин Н. Ф., Егоров Е. Н., Кольцов Н. И. Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. № 8. С. 60–64.
- Гресь И.М., Демидов Д.В., Востриков Д.С. Исследование низкотемпературных свойств и стойкости к действию авиационного керосина эластомеров на основе пропиленоксидного и эписхлоргидринового каучуков // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 11(206). С. 113–117.
- Yu J. Liu, S., Cardoso, A., Han, Y. et al. Catalytic pyrolysis of rubbers and vulcanized rubbers using modified zeolites and mesoporous catalysts with Zn and Cu // Energy. 2019. Т. 188. С. 116117.
- Кахраманов Н. Т. Касумова, Г. Ш., Осипчик, В. С., Гаджиева, Р. Ш. Износостойкие полимерные материалы. Структура и свойства // Пластические массы. 2017. № 11-12. С. 8-15.
- Klyuchnikov O. R., Klyuchnikov Y. O. Vulcanization of Elastomers with Quinol Ethers of P-Benzoquinone Dioxime // Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. P. 479-485.
- Хорова Е.А., Раздьяконова Г.И., Ходакова С.Я. Влияние структуры гидрированного бутадиен-нитрильного каучука на стойкость к воздействию агрессивных сред и повышенных температур // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 6-й международной науч.-техн. конф. Омск, 2016. С. 155–156.
- Sang J., Aisawa S., Hirahara H., Mori K. Primary process to fabricate functional groups on acrylonitrile-butadiene rubber surface during peroxide curing // Chemical Engineering Journal. 2016. V. 287. P. 657-664.
- Чайкун А. М. Наумов И. С., Венедиктова М. А., Алифанов Е. В. Новые разработки резин специального назначения на основе фторсилоксановых каучуков // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 3 (42). С. 60-65.
- Елисеев О. А. Чайкун А. М., Бузник В. М., Соколова М. Д и др. Основные принципы построения рецептур морозостойких резин для изделий, эксплуатируемых в условиях арктического климата // Перспективные материалы. 2015. № 11. С. 5-18.
- Чайкун А.М., Алифанов Е.В., Наумов И.С. Эластомерные материалы для применения в топливных и масляных системах (обзор) // Новости материаловедения. Наука и техника. 2018. № 3–4. С. 7.
- Бутадиен-нитрильные каучуки от СИБУР. URL: <https://nitrile.sibur.ru>
- ГОСТ Р 54547–2011 Смеси резиновые. Определение вулканизационных характеристик с использованием безртотных реометров. М: Стандартинформ, 2013. 16 с.

References

- Buznik V.M., Burkovskaya N.P., Zibareva I.V. Arctic materials science. 2018. no. 3. pp. 44. (in Russian).
- Rogozin D.O. The North Pole will be equipped and inhabited //The Russian Federation today. 2016. no. 12. pp. 36. (in Russian).
- Buznik V.M., Vasilevich N.I. Materials for the development of Arctic territories – challenges and solutions //Laboratory and production. 2020. no. 1. pp. 98–107. (in Russian).
- Lepov V.V., Okhlopokova A.A. Developments in the field of northern and Arctic materials science for the industry of the Republic of Sakha (Yakutia) // Natural Resources of the Arctic and Subarctic. 2023. Vol. 28. no. 4. pp. 627-640. doi:10.31242/2618-9712-2023-28-4-627-640 (in Russian).
- Pavlova V.V., Sokolova M.D. Investigation of the effect of plasticizers on the performance properties of rubber based on epichlorohydrin rubber //New materials and technologies in the Arctic. 2022. pp. 185. (in Russian).
- Pavlova V.V., Sokolova M.D., Fedorova A.F. Influence of the content and nature of plasticizer on the properties of butadiene-nitrile rubber //Journal of the Siberian Federal University. Machinery and technology. 2021. Vol. 14. no. 2. pp. 222–232. (in Russian).
- Pavlova V.V., Fedorova A.F., Sokolova M.D. Investigation of the effect of DOF and DOTF on the performance properties of rubbers based on butadiene-nitrile rubber //D. Mendeleev's contribution to the development of fundamental sciences, to the deepening and expansion of education for sustainable development. 2019. pp. 209–212. (in Russian).
- Ushmarin N.F., Egorov E.N., Koltsov N.I. Frost-resistant rubber based on a combination of butadiene-nitrile and hydride rubbers //News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2017. Vol. 60. no. 8. pp. 60–64.
- Prokopyev A.M. Study of climatic aging of rubber based on fluorocarbon rubber and mixtures of butadiene-nitrile and diene rubbers //The Editorial board. 2022. pp. 918. (in Russian).
- Bobrova I.I., Kotova S.V., Naumova Yu. A. The effect of eco-friendly Phytonormane oils on the adhesive properties of frost-resistant rubbers based on butadiene-nitrile rubber. //Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. Vol. 85. no. 2. pp. 189–197. (in Russian).
- Mukhin V.V., Petrova N.N., Maskalyunaite O.E. Comparative assessment of climatic resistance of rubbers based on epichlorohydrin and butadiene-nitrile rubber //mechanics, resource and diagnostics of materials and structures. 2018. pp. 252–253. (in Russian).
- Nagornaya M.N. The effect of plasticizers on the properties of oil and gasoline resistant rubbers //Equipment and technology of petrochemical and oil and gas production. 2022. pp. 121–122. (in Russian).
- Petrova, N.N., Portnyagina V.V. The effect of particle size and concentration of a fluorinated polymer on the properties of frost-resistant rubbers based on propylene oxide rubber // Natural Resources of the Arctic and Subarctic. 2020. Vol. 25. No. 1. pp. 101-117. doi:10.31242/2618-9712-2020-25-1-11 (in Russian).
- Reznikov M.S., Ushmarin N.F., Egorov E.N., Sandalov S.I. Investigation of the effect of technological additives on the properties of rubbers based on epichlorohydrin and propylene oxide rubbers. 2016. to. 1. pp. 18-21. (in Russian).
- Ushmarin N. F., Egorov E. N., Koltsov N. I. Frost-resistant rubber based on a combination of butadiene-nitrile and hydride rubbers //News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2017. Vol. 60. to. 8. pp. 60-64. (in Russian).
- Gres I.M., Demidov D.V., Vostrikov D.S. Investigation of low-temperature properties and resistance to aviation kerosene of elastomers based on propylene oxide and epichlorohydrin rubbers // Izvestiya Volgograd State Technical University. 2017. no. 11(206). pp. 113-117. (in Russian).
- Yu J. Liu, S., Cardoso, A., Han, Y. et al. Catalytic pyrolysis of rubbers and vulcanized rubbers using modified zeolites and mesoporous catalysts with Zn and Cu //Energy. 2019. Vol. 188. pp. 116117.
- Kakhramanov N. T. Kasumova, G. S., Osipchik, V. S., Gadzhieva, R. S. Wear-resistant polymer materials. Structure and properties //Plastic masses. 2017. no. 11-12. pp. 8-15. (in Russian).
- Klyuchnikov O. R., Klyuchnikov Y. O. Vulcanization of Elastomers with Quinol Ethers of P-Benzoquinone Dioxime //Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. pp. 479-485.
- Khorova E.A., Razdiakonova G.I., Khodakova S.Ya. Influence of the structure of hydrogenated butadiene-nitrile rubber on resistance to aggressive media and elevated temperatures // Technique and technology of petrochemical and oil and gas production: Materials of the 6th International Scientific and Technical Conference. conf. Omsk, 2016. pp. 155-156. (in Russian).
- Sang J., Aisawa S., Hirahara H., Mori K. Primary process to fabricate functional groups on acrylonitrile-butadiene rubber surface during peroxide curing //Chemical Engineering Journal. 2016. Vol. 287. pp. 657-664.
- Chaikun A.M., Naumov I. S., Venediktova M. A., Alifanov E. V. New developments in special-purpose rubbers based on fluorosiloxane rubbers //Aviation Materials and Technologies. 2016. no. 3 (42). pp. 60-65. (in Russian).
- Eliseev O. A. Chaikun, A.M., Buznik, V. M., Sokolova, M. D. et al. The basic principles of constructing formulations of frost-resistant rubbers for products used in the Arctic climate //Promising materials. 2015. no. 11. pp. 5-18. (in Russian).
- Chaikun A.M., Alifanov E.V., Naumov I.S. Elastomeric materials for use in fuel and oil systems (review) //Materials Science news. Science and technology. 2018. no. 3–4. pp. 7. (in Russian).
- Butadiene-nitrile rubbers from SIBUR, URL: <https://nitrile.sibur.ru> (in Russian).
- State Standart R 54547–2011 Rubber mixtures. Determination of vulcanization characteristics using rotorless rheometers. Standartinform, 2013. 16 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Анна С. Пушница аспирант, МИРЭА, Российский технологический университет, Малая Пироговская, д.1, стр.5, г. Москва, 119435, Россия, apushnitsa@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4417-4371>

Валерий В. Власов к.т.н., доцент, кафедра химической технологии биологически активных веществ и полимерных композитов, Ярославский государственный технический университет, пр-т Московский, 88, г. Ярославль, 150023, Россия, ganghubas@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1057-8167>

Александр С. Москалев к.т.н., доцент, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, kaf-tospp@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3403-3850>

Вклад авторов

Анна С. Пушница написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Валерий В. Власов консультация в ходе исследования

Александр С. Москалев предложил методику проведения эксперимента

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anna S. Pushnitsa PhD student, MIREA, Russian Technological University, Malaya Pirogovskaya, 1, p. 5, Moscow, 119435, Russia, apushnitsa@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4417-4371>

Valeriy V. Vlasov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical technology of biologically active substances and polymer composites department, Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia, ganghubas@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1057-8167>

Alexandr S. Moskalev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of organic compounds and polymer processing department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaf-tospp@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3403-3850>

Contribution

Anna S. Pushnitsa All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Valeriy V. Vlasov consultation during the study

Alexandr S. Moskalev proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 23/10/2024	После редакции 13/11/2024	Принята в печать 25/11/2024
Received 23/10/2024	Accepted in revised 13/11/2024	Accepted 25/11/2024