

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. BIOTECHNOLOGIES

CHEMICAL ENGINEERING. BIOTECHNOLOGIES

УДК 678.049

**О. А. Кротова, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, А. В. Лешкевич,
Д. А. Богданович, В. И. Жолнеркевич**
Белорусский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Приведены результаты исследования влияния нефтяных масел с различной степенью очистки на технические свойства эластомерных композиций на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД. В качестве пластифицирующих компонентов применялись побочный продукт масляного производства (экстракт селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4) и продукты его очистки, которые вводились в эластомерные композиции в дозировках 5,0 и 10,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Установлено, что введение в резиновые смеси исследуемых пластифицирующих добавок приводит к увеличению до 27% условного напряжения при 300%-ном удлинении и до 7,9% условной прочности при растяжении вулканизатов по сравнению с композициями, содержащими масло И-40. Определено, что применение рафината, полученного в процессе очистки экстракта вакуумного дистиллята ВД-4 растворителем N-метилпирролидоном с добавлением 10 мас. % этиленгликоля, а также рафината – продукта экстракционной очистки окисленного экстракта вакуумного дистиллята ВД-4, приводит к увеличению стойкости резин к термическому старению до 9%. Выявлено, что введение исследуемых нефтяных масел в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД позволяет сохранить температурный предел хрупкости резин на уровне применяемого в промышленности масла И-40.

Ключевые слова: эластомерная композиция, пластифицирующий компонент, каучук общего назначения, нефтяное масло, рафинат, прочность, предел хрупкости.

Для цитирования: Кротова О. А., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Лешкевич А. В., Богданович Д. А., Жолнеркевич В. И. Влияние пластифицирующих компонентов на технические свойства вулканизатов на основе каучуков общего назначения // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 5–11.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-1.

**O. A. Krotova, Zh. S. Shashok, E. P. Uss, A. V. Leshkevich,
D. A. Bogdanovich, V. I. Zholnerkevich**
Belarusian State Technological University

INFLUENCE OF PLASTICIZING COMPONENTS ON TECHNICAL PROPERTIES OF ELASTOMER COMPOSITIONS BASED ON GENERAL PURPOSE RUBBERS

The results of the study of petroleum oils with various degrees of purification on the technical properties of elastomeric compositions based on a combination of SKI-3 and SKD rubbers are presented. As plasticizing component were used a by-product of oil production (extract of selective purification of vacuum distillate VD-4) and its purification products, which were introduced into the elastomeric compositions at a dosage of 5.0 and 10.0 phr. It was found that the introduction of the studied plasticizing additives into rubber mixtures leads to an increase of up to 30% of the conditional stress at 300% elongation and up to 7.9% of the conditional tensile strength rubber compared to compositions containing I-40 oil. It was determined that the use of raffinate obtained during the purification of the extract of vacuum distillate VD-4 with the solvent N-methylpyrrolidone with the addition of 10 wt. % of ethylene glycol, as well as raffinate, a product of extraction purification of the oxidized extract of vacuum distillate VD-4, leads to an increase in the resistance of rubber to thermal aging by up to 9%. It was revealed that the introduction of the studied petroleum oils into elastomeric compositions based on a combination

of SKI-3 and SKD rubbers makes it possible to maintain the temperature limit of rubber brittleness at the level of I-40 oil used in industry.

Keywords: elastomer composition, plasticizer, general purpose rubber, petroleum oil, raffinate, compatibility, strength, hardness, brittleness limit.

For citation: Krotova O. A., Shashok Zh. S., Uss E. P., Leshkevich A. V., Bogdanovich D. A., Zholnerkevich V. I. Influence of plasticizing components on technical properties of elastomer compositions based on general purpose rubbers. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 2 (283), pp. 5–11 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-1.

Введение. Важным научным направлением нефтехимии является производство пластификаторов, мягчителей, вулканизирующих агентов, наполнителей на основе побочных продуктов. Общеизвестным является применение в рецептурах резиновых смесей органических и неорганических низкомолекулярных соединений, выполняющих различные функции. По эффективности действия полимеры и изделия низкомолекулярных соединений делят на мягчители и пластификаторы. Мягчителями называют низкомолекулярные соединения, снижающие температуру текучести, они не влияют на температуру стеклования каучуков. Пластификаторами являются низкомолекулярные соединения, которые снижают температуру стеклования и температуру текучести каучуков. Важное требование к пластификаторам и мягчителям – это их низкая стоимость. Большое значение придается также доступности исходного сырья, используемого для их получения. Другие требования к пластификаторам и мягчителям определяются конкретными условиями, в которых будет работать готовое изделие, содержащее пластификатор и мягчитель [1].

В последнее время решению проблемы влияния последствий техногенных воздействий на окружающую среду и здоровье человека уделяется большое внимание. В нефтяных маслах содержатся ПАУ, губительные для человека, и законодательства многих стран допускают применение лишь безопасных технологических масел, в которых содержание канцерогенных компонентов не превышает установленных обоснованных специальными исследованиями лимитов (Директива № 2005/69/ЕЕС) [2, 3].

Соппротивление резин разрушающему действию механических напряжений характеризует их прочность. На прочностные свойства резин большое влияние оказывают тип и микроструктура каучука, тип вулканизирующей системы и характер образующихся при вулканизации структур, дозировка и морфологические характеристики наполнителей, пластификаторов и других ингредиентов. В процессе вулканизации, помимо процессов структурирования и деструкции, происходит изменение состава и

структуры полимерных цепей в результате внутримолекулярного присоединения серы с образованием серосодержащих циклов, цис-транс-изомеризация (в присутствии серы и ускорителей класса тиазолов и сульфенамидов). Все это приводит к уменьшению регулярности молекулярных цепей и снижению прочности вулканизатов. Изменение основных упругопрочностных свойств резин оказывает непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики изделия и его работоспособность [4].

Одним из эффективных способов расширения температурного диапазона работоспособности изделий на основе эластомерных материалов является выбор типа пластификатора. Как правило, пластификаторы должны: совмещаться с эластомером (предел совместимости должен быть таким, чтобы сохранялась термодинамическая устойчивость пластифицированной системы в широком интервале температур при переработке, хранении и эксплуатации); обладать химической и термической стойкостью при вулканизации; иметь по возможности небольшую вязкость; быть доступными и нетоксичными; не вымываться водой, маслами и другими агрессивными средами [5].

Основная часть. Целью работы являлось исследование влияния пластифицирующих добавок на технические свойства наполненных эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения.

Объекты исследования – резиновые смеси на основе комбинации каучуков SKI-3 и СКД, содержащие нефтяные масла. В данной работе исследуемыми маслами являлись побочный продукт масляного производства экстракт селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 (ОАО «Нафтан») и продукты его очистки. Очистка побочного продукта осуществлялась тремя способами, описанными в работах [6, 7]. Первый способ заключался в очистке экстракта вакуумного дистиллята ВД-4 растворителем N-метилпирролидоном, содержащим 10 мас. % этиленгликоля при соотношении растворитель : сырье, равном 2 : 1 (м. ч.), при температуре 50°C (рафинат 1). Второй способ заключался в окислении

экстракта вакуумного дистиллята ВД-4 30%-ным водным раствором гидропероксида водорода (3 мас. %) в присутствии ледяной уксусной кислоты (2 мас. %) при температуре 60°C в течение 180 мин. Дальнейшую очистку проводили аналогично первому способу (рафинат 2). Третий способ заключался в обработке экстракта вакуумного дистиллята ВД-4 СВЧ-излучением в течение 3 мин и последующей экстракцией аналогично первому способу (рафинат 3).

В качестве образца сравнения выступала резиновая смесь, содержащая масло И-40, применяемое в резиновой промышленности. Исследуемые пластифицирующие добавки вводились в резиновые смеси в дозировке 5,0 и 10,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Для резины наиболее опасными являются растягивающие деформации, вызывающие их разрыв. Поэтому практически определение прочностных свойств резин производится в условиях простого растяжения, осуществляемого с постоянной скоростью [8]. Для оценки упругопрочностных свойств резин были определены физико-механические показатели исследуемых резин до старения, такие как условная прочность резин при растяжении, условное напряжение при 300%-ном удлинении и относительное удлинение при разрыве. Испытания по определению упругопрочностных свойств резин проводились согласно ГОСТ 270–75 [9].

Результаты определения упругопрочностных свойств резин приведены в табл. 1.

Таблица 1
Упругопрочностные свойства резин

Наименование пластифицирующей добавки	Дозировка, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука	f_e , МПа	f_p , МПа	ϵ_p , %
И-40	5,0	7,3	17,7	555,0
	10,0	7,0	18,3	565,0
Экстракт ВД-4	5,0	9,3	18,6	555,0
	10,0	8,1	18,9	605,0
Рафинат 1	5,0	7,7	18,2	545,0
	10,0	6,1	18,0	590,0
Рафинат 2	5,0	6,9	18,0	545,0
	10,0	5,8	17,6	605,0
Рафинат 3	5,0	9,1	18,9	545,0
	10,0	8,9	19,1	585,0

Примечание. f_e – условное напряжение при 300%-ном удлинении, МПа; f_p – условная прочность при растяжении, МПа; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве, %.

Анализ полученных данных показал, что введение в резиновые смеси экстракта ВД-4 и рафината 3 приводит к увеличению до 27% условного

напряжения при 300%-ном удлинении. Так, значения данного показателя для композиции с маслом И-40 изменяется от 7,0 до 7,3 МПа в зависимости от дозировки, а для экстракта ВД-4 и его рафината варьируется в пределах 8,1–9,3 МПа. В то же время применение двух других рафинатов приводит к уменьшению до 17% условного напряжения при 300%-ном удлинении и изменяется от 5,8 до 7,7 МПа.

Установлено, что введение в резиновые смеси исследуемых пластифицирующих добавок приводит к некоторому увеличению (до 8%) условной прочности при растяжении. При этом введение в композиции рафината 1 и рафината 2 в дозировке 10,0 мас. ч. приводит к незначительному уменьшению (до 4%) данного показателя. Выявлено, что применение в резиновых смесях исследуемых пластификаторов в дозировке 5,0 мас. ч. не оказывает влияния на величину относительного удлинения при разрыве. При этом увеличение дозировки пластифицирующих добавок до 10,0 мас. ч. позволяет повысить данный показатель до 7%. Так, значение относительного удлинения при разрыве для образца сравнения в зависимости от дозировки пластификатора составляет 555–565%, а у резин с исследуемыми маслами находится в пределах 585–605%.

Свойства резины изменяются во времени при температуре окружающей среды или изменяются с большей скоростью под действием тепла. При повышенных температурах сильнее проявляется влияние окислительных процессов, а также выше скорость диффузии кислорода. Следовательно, испытания на тепловое старение проводят для установления изменений в физических свойствах резин при повышенных температурах, которые могут быть близки к температурам эксплуатации реального изделия. Пластификаторы и мягчители в большинстве случаев оказывают неблагоприятное влияние на термостойкость и повышают скорость термоокислительного старения. Пластификаторы ненасыщенного типа ухудшают термо- и термоокислительную стойкость, поскольку они участвуют в окислении резин [10]. Стойкость резин к термическому старению оценивалась в соответствии с ГОСТ 9.024–74 [11].

Результаты по определению влияния стойкости образцов к воздействию повышенной температуры (100°C, 72 ч) приведены в табл. 2.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что введение в эластомерные композиции рафината 2 в исследуемых дозировках, а также рафината 1 в дозировке 10,0 мас. ч. приводит к некоторому повышению стойкости резин к воздействию повышенных температур. Так, для резин с данными рафинатами значение S_c изменяется от –27,8 до –29,0%. В то время как для образца сравнения S_c составляет –31,1 и –30,6% в зависимости от дозировки.

Таблица 2
Изменение упругопрочностных показателей резин

Наименование пластифицирующей добавки	Дозировка, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука	S_{σ} , %	S_{ϵ} , %
И-40	5,0	-31,1	-45,1
	10,0	-30,6	-45,1
Экстракт ВД-4	5,0	-31,2	-43,2
	10,0	-38,1	-49,6
Рафинат 1	5,0	-31,9	-45,9
	10,0	-27,8	-48,3
Рафинат 2	5,0	-28,3	-47,7
	10,0	-29,0	-50,4
Рафинат 3	5,0	-36,5	-45,0
	10,0	-37,7	-48,7

Примечание. S_{σ} – изменение условной прочности при растяжении, %; S_{ϵ} – изменение относительного удлинения при разрыве, %.

Выявлено, что введение в эластомерные композиции экстракта ВД-4 во всех дозировках и рафината 1 в дозировке 5,0 мас. ч. позволяет получать вулканизаты, которые по термоокислительной стойкости не уступают резинам с промышленным маслом И-40. Следует отметить, что использование в составе резиновых смесей рафината 3 приводит к получению резин, которые характеризуются несколько меньшей стойкостью к воздействию повышенной температуры по сравнению с вулканизатами, содержащими образец сравнения.

В случае изменения относительного удлинения при разрыве установлено, что введение исследуемых пластификаторов в дозировке 5,0 мас. ч. не оказывает влияния на данный показатель. В то же время применение рафината 2 и всех исследуемых добавок в дозировке 10,0 мас. ч. приводит к незначительному уменьшению стойкости к тепловому старению. Выявленный характер изменения свойств, вероятно, обусловлен тем, что при очистке пластифицирующих добавок удаляются ароматические соединения, которые могут выполнять функцию химических противостарителей.

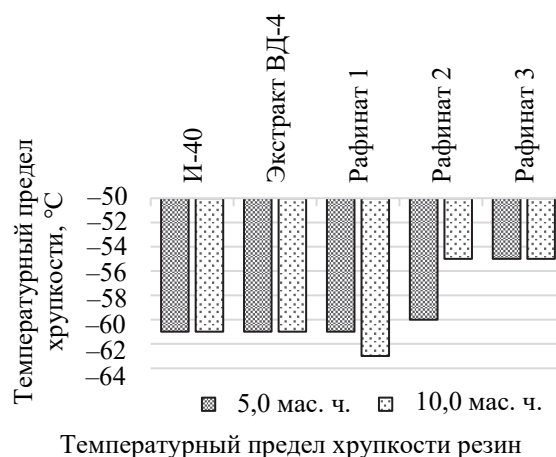
Разработка резинотехнических изделий, которые могут длительно служить в жестких условиях эксплуатации, является актуальной задачей. Известно [12], что при низких температурах все известные каучуки и их вулканизаты теряют эластичность и становятся твердыми. Для повышения морозостойкости резин применяют пластификаторы. Основным результатом пластификации и одновременно количественной оценкой эффективности действия пластификаторов

является понижение температуры стеклования полимера, что позволяет расширить температурную область высокоэластического состояния, т. е. повысить морозостойкость [13].

В ряде случаев для повышения морозостойкости в резиновые смеси на основе одного каучука добавляют второй, а иногда и третий каучук с хорошими низкотемпературными свойствами. Такие композиции обычно являются термодинамически несовместимыми, для них характерно наличие двух температур стеклования. Примером таких смесей являются смеси СКИ-3 и СКД, СКИ-3, СКД и СКМС-30АРКМ-15, нашедшие широкое применение в РТИ [14].

Морозостойкость резин характеризуется температурой хрупкости – температурой, при которой полимер разрушается при механическом воздействии в стандартных условиях (согласно ГОСТ 7912–74) [15, 16].

Определение температурного предела хрупкости резин на основе СКИ-3 и СКД показало (рисунок), что введение в эластомерные композиции исследуемых масел позволяет сохранить данный показатель на уровне -61°C . При этом установлено, что применение в резиновых смесях рафината 1 в дозировке 10,0 мас. ч. позволяет получить более устойчивые к низким температурам вулканизаты. В то же время в резинах, содержащих рафинат 2 в дозировке 10,0 мас. ч., а также рафинат 3 в исследуемых дозировках, наблюдается повышение температурного предела хрупкости до -55°C , т. е. некоторое снижение морозостойкости вулканизатов.



Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что введение в резиновые смеси рафината 1 и рафината 3 приводит к увеличению условного напряжения при 300%-ном удлинении до 27%, условной прочности при растяжении до 7,9%, относительного удлинения при разрыве до 9%. Анализ стойкости резин к термическому старению показал, что применение в эластомерных

композициях рафината, полученного в процессе очистки экстракта ВД-4 растворителем N-метилпирролидоном с добавлением 10 мас. % этиленгликоля (рафинат 1), а также рафината 2 приводит к увеличению стойкости резин к термическому старению до 9%. Выявлено, что применение в

составе резиновых смесей на основе комбинаций каучуков СКИ-3 и СКД рафината, выделенного из экстракта ВД-4 путем очистки N-метилпирролидоном и 10 мас. % этиленгликоля (рафинат 1), в дозировке 10,0 мас. ч. позволяет получить более устойчивый к низким температурам вулканизат.

Список литературы

1. Утилизация и вторичное использование отходов нефтедобычи и нефтепереработки в производстве резин / Г. З. Туребекова [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2017. № 4. С. 107–115.
2. Разработка новых неканцерогенных масел-пластификаторов для шин и каучуков путем компаундирования ароматического и парафинового компонентов / А. А. Шалашова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. № 4. С. 87–94.
3. Directive 2005/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2005 amending for the 27th time Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (polycyclic aromatic hydrocarbons in ex-tender oils and tyres) // Official Journal of the European Union. 2005. Vol. 48. P. 51–54.
4. Исследование влияния нефтеполимерных смол на упругопрочностные свойства шинных резин / Ж. С. Шашок [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 2 (235). С. 190–197.
5. Хорова Е. А. Свойства резин на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков при воздействии агрессивных сред и высоких температур: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.09. Омск, 2020. 177 с.
6. Исследование влияния пластифицирующих компонентов на свойства эластомерных композиций на основе каучуков общего назначения / О. А. Кротова [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 1 (277). С. 75–81.
7. Исследование кинетических параметров процесса вулканизации эластомерных композиций, содержащих пластифицирующие компоненты / Д. А. Богданович [и др.] // 74-я науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов: тезисы докладов: в 4 ч. Минск, 17–22 апр. 2023 г. Минск: БГТУ, 2023. Ч. 2. С. 119–120. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/63374> (дата обращения: 15.03.2024).
8. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.
9. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении: ГОСТ 270–75. М.: Издательство стандартов, 1978. 11 с.
10. Дик Дж. Технология резины: рецептуростроение и испытания. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
11. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы испытаний на стойкость к термическому старению: ГОСТ 9.024–74. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1975. 11 с.
12. Бухина М. Ф. Кристаллизация каучуков и резин. М.: Химия, 1973. 240 с.
13. Исследование влияния пластификаторов ПЭФ-1 и трихлорэтилфосфата на технологические, физико-механические свойства и морозостойкость резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков / Н. И. Кольцов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 2. С. 41–44.
14. Особенности морозостойких резин на основе различных каучуков / А. М. Чайкун [и др.] // Труды ВИАМ. 2013. № 12. С. 53–55.
15. Морозостойкость резин на основе полибутадиеновых каучуков / Э. Н. Ломова [и др.] // Аллея науки. 2019. № 11. С. 223–227.
16. Резина. Метод определения температурного предела хрупкости: ГОСТ 7912–74. М.: Издательство стандартов, 1976. 10 с.

References

1. Turebekova G. Z., Pusurmanova G. Zh., Sakibaeva S. A., Sagitova G. F. Utilization and secondary use of waste oil production and oil refining in the production of rubber. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* [Journal of the Belarusian State University. Ecology], 2017, no. 4, pp. 107–115 (In Russian).
2. Shalashova A. A., Novoselov A. S., Lazarev M. A., Shchepalov A. A. Development of new non-carcinogenic oils-plasticizers for tires and rubbers by compounding aromatic and paraffin components. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology], 2017, no. 4, pp. 87–94 (In Russian).

3. Directive 2005/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2005 amending for the 27th time Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (polycyclic aromatic hydrocarbons in ex-tender oils and tyres). *Official Journal of the European Union*, 2005, vol. 48, pp. 51–54.

4. Shashok Zh. S., Perfil'eva S. A., Prokopchuk N. R., Uss E. P. Study of the influence of petroleum polymer resins on the elastic-strength properties of tire rubber. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2020, no. 2 (235), pp. 190–197 (In Russian).

5. Khorova E. A. *Svoystva rezin na osnove gidrirovannykh butadien-nitril'nykh kauchukov pri vozdeystvii agressivnykh sred i vysokikh temperatur. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Properties of rubber based on hydrogenated nitrile butadiene rubber when exposed to aggressive media and high temperatures. Dissertation PhD (Engineering)]. Omsk, 2020. 177 p. (In Russian)

6. Krotova O. A., Shashok Zh. S., Uss E. P., Bogdanovich D. A., Zholnerkevich V. I. Study of the influence of plasticizing components on properties of elastomer compositions based on general purpose rubbers. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2024, no. 1 (277), pp. 75–81 (In Russian).

7. Bogdanovich D. A., Zholnerkevich V. I., Krotova O. A., Shrubok A. O. Study of critical parameters of the vulcanization process of elastomeric compositions containing plasticizing components. *74-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya uchaschikhsya, studentov i magistrantov* [74th scientific and technical conference of students and undergraduates]. Minsk, 2023, pp. 119–120 (In Russian).

8. Zhovner N. A., Chirkova N. V., Khlebov G. A. *Struktura i svoystva materialov na osnove elastomerov* [Structure and properties of elastomer-based materials]. Omsk, 2003. 276 p.

9. GOST 270–75. Rubber. Method for determining elastic-strength properties in tension. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1978. 11 p. (In Russian).

10. Dik Dzh. *Tekhnologiya reziny: retsepturostroeniye i ispytaniya* [Rubber technology: formulation and testing]. St. Petersburg, Nauchnyye osnovy i tekhnologii Publ., 2010. 620 p. (In Russian).

11. GOST 9.024–74. Unified system of protection against corrosion and aging. Rubber. Test methods for resistance to thermal aging. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1975. 11 p. (In Russian).

12. Bukhina M. F. *Kristallizatsiya kauchukov i rezin* [Crystallization of rubbers and rubbers]. Moscow, Khimiya Publ., 1973. 240 p. (In Russian).

13. Kol'tsov N. I., Ushmarin N. F., Issakova S. A., Vinogorova S. S., Chernova N. A., Verkhunov S. M., Petrova N. N. Investigation of the influence of plasticizers PEF-1 and trichloroethyl phosphate on the technological, physical and mechanical properties and frost resistance of rubbers based on nitrile butadiene rubbers. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2012, no. 2, pp. 41–44 (In Russian).

14. Chaykun A. M., Eliseev O. A., Naumov I. S., Venediktova M. A. Features of frost-resistant rubbers based on various rubbers. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2013, no. 12, pp. 53–55 (In Russian).

15. Lomova E. N., Plekhanova I. S., Borisenko V. N., Chirkova Yu. N., Dorofeev A. N. Frost resistance of rubbers based on polybutadiene rubbers. *Alleya nauki* [Alley of science], 2019, no. 11, pp. 223–227 (In Russian).

16. GOST 7912–74. Rubber. Method for determining the temperature limit of brittleness. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1976. 10 p. (In Russian).

Информация об авторах

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

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

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

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

Богданович Диана Анатольевна – магистрант кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bogdanovichdiana@mail.ru

Жолнеркевич Вероника Игоревна – аспирант кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Information about the authors

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

Shashok Zhanna Stanislavovna – DSc (Engineering), 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

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

Bogdanovich Diana Anatolievna – Master's degree student, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bogdanovichdiana@mail.ru

Zholnerkevich Veronika Igorevna – PhD student, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Поступила 30.04.2024