

УДК 678.049

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

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Исследовано влияние экстракта селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 и его рафинатов, применяемых в качестве пластифицирующих добавок, на технологические и технические свойства эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения. Исследуемые добавки были получены в процессе обработки экстрактов, являющихся продуктом селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 триэтиленгликолем, диметилсульфоксидом, растворителем состава N-метилпирролидоном + 10 мас. % этиленгликоля. Пластифицирующие добавки вводились в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД в дозировках 2,5 и 5,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Установлено, что очистка вакуумного дистиллята ВД-4 приводит к улучшению совместимости пластифицирующих добавок с эластомерной матрицей, о чем свидетельствуют более высокие значения коэффициента диффузии. Выявлено, что введение рафинатов вызывает увеличение вязкости по Муни резиновых смесей, по сравнению с композициями, содержащими ВД-4, и способствует повышению скорости протекания релаксационных процессов в объеме полимерной матрицы. Показано, что вулканизаты, содержащие очищенные масла, имеют более высокие значения условного напряжения при заданном удлинении и условной прочности при растяжении. Установлено, что резины с очищенными продуктами характеризуются повышенной стойкостью к истиранию по сравнению с композициями, содержащими ВД-4.

Ключевые слова: эластомерная композиция, пластифицирующая добавка, нефтяное масло, рафинат, прочность, твердость, износостойкость.

Для цитирования: Кротова О. А., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Грушова Е. И., Богданович Д. А., Жолнеркевич В. И. Влияние пластифицирующих добавок на свойства эластомерных композиций // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 2 (259). С. 143–149.

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

INFLUENCE OF PLASTICIZER ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF ELASTOMER COMPOSITIONS

The influence of the extract of selective purification of vacuum distillate VD-4 and its raffinates used as plasticizers on the technological and technical properties of elastomer compositions based on general-purpose rubbers has been studied. The studied additives were obtained during the treatment of extracts that are the product of selective purification of VD-4 vacuum distillate with triethylene glycol, dimethyl sulfoxide, and a solvent of the composition N-methylpyrrolidone + 10 wt. % ethylene glycol. Plasticizing additives were introduced into elastomeric compositions based on combination of SKI-3 and SKD in dosages of 2.5 and 5.0 phr. It has been established that the purification of VD-4 vacuum distillate leads to improvement in the compatibility of plasticizing additives with elastomer matrix, as indicated by higher values of the diffusion coefficient. It was revealed that the introduction of raffinates leads to increase in the Mooney viscosity of rubber compounds, in comparison with the compositions containing VD-4, and contributes to increase in the rate of relaxation processes in the bulk of the polymer matrix. It was shown that vulcanisates containing refined oils have a higher value of stress at a given elongation and tensile strength. It has been established that rubbers with purified products are characterized by increased resistance to abrasion compared to compositions containing VD-4.

Key words: elastomer composition, plasticizer, petroleum oil, raffinate, strength, hardness, wear resistance.

For citation: Krotova O. A., Shashok Zh. S., Uss E. P., Grushova E. I., Bogdanovich D. A., Zholnerkevich V. I. Influence of plasticizer additives on the properties of elastomer compositions. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 2 (259), pp. 143–149 (In Russian).

Введение. Пластификация является одним из важнейших методов модификации свойств полимерных композиций. С развитием производства эластомерных материалов роль данных добавок, применяемых при переработке композиций, значительно возросла [1].

Действие пластификаторов и мягчителей проявляется в виде повышения эластичности и связанных с ней динамических характеристик резин, при некотором снижении их механической прочности. Об эффективности пластификаторов можно судить по технологическим свойствам резиновых смесей. Так, использование пластификаторов облегчает изготовление и обработку резиновых смесей, повышает их пластичность, способствует более равномерному распределению ингредиентов в объеме эластомерной матрицы. Пластификаторы предотвращают преждевременную вулканизацию резиновых смесей, улучшают их формирование при каландровании и шприцевании [2, 3].

Из группы нефтепродуктов самое широкое применение находят нефтяные масла, которые выполняют роль пластификаторов резиновых смесей. Нефтяные масла в полной мере отвечают основным требованиям, предъявляемым к пластификаторам, являются низкомолекулярными органическими соединениями и обладают хорошей совместимостью с неполярными каучуками.

Кроме того, нефтяные масла характеризуются химической инертностью и практически не взаимодействуют с другими ингредиентами. Однако эти масла относятся к потенциально канцерогенным продуктам из-за значительного содержания в них полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Они могут выделяться не только при изготовлении резиновой смеси и ее вулканизации, но и при эксплуатации изделий. ПАУ занимают особое положение среди группы химических соединений, способных к биоаккумуляции и обладающих канцерогенными, мутагенными и токсическими свойствами, поскольку образуются они в процессах сжигания и переработки нефтепродуктов, угля, древесины и т. д. В достаточно больших масштабах ПАУ используются при производстве шин и резинотехнических изделий, так как входят в состав нефтяных масел-пластификаторов, мировое потребление которых оценивается на уровне 1,5 млн т/год [4–7].

Для получения нефтяного масла, удовлетворяющего экологическим требованиям к пластификаторам каучука, резиновых смесей, в соответствии с Директивой 2005/69/ЕС, вступившей в силу в Евросоюзе с 01.01.2010 г., используют экстракцию различными экстрагентами [8–11].

Основная часть. Цель работы – исследование влияния новых пластифицирующих добавок на технологические и технические свойства наполненных резиновых смесей на основе комбинации каучуков общего назначения.

Объектами исследования являлись эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД, содержащие экстракт селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 (образец сравнения) и его очищенные рафинаты. Исследуемые пластифицирующие добавки вводились в эластомерные композиции в дозировках 2,5 и 5,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Обработка экстрактов, полученных в процессе селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4, проводилась триэтиленгликолем (ТЭГ), диметилсульфоксидом (ДМСО) растворителем состава N-метилпирролидон + 10 мас. % этиленгликоля (N-МП + 10% ЭГ) при температуре 50°C и кратности растворитель : сырье, равной 2 : 1 мас. ч. Процесс осуществлялся в термостатированной делительной воронке, оснащенной мешалкой. В воронку-экстрактор загружались сырье (экстракт ВД-4) и растворитель и осуществлялось их перемешивание в течение 30 мин. Отстаивание системы проводилось не менее 20 мин. Далее полученные фазы (рафинатные и экстрактные растворы) разделялись. Экстракт из экстрактного раствора выделялся вакуумной перегонкой. Рафинатный раствор промывался водой до показателя преломления промытых вод $n_D^{20} = 1,3333$. Экстракт и рафинат сушились над цеолитом NaA и затем анализировались. Характеристики полученных масел приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика масел

Показатель	Значение			
	ВД-4	ВД-4 + ТЭГ	ВД-4 + ДМСО	ВД-4 + N-МП + 10% ЭГ
Показатель преломления	1,5435	1,5400	1,5355	1,5220
Анилиновая точка, °С	40,5	42,5	50,0	59,0
Кинематическая вязкость при 50°C, мм ² /с	361,99	326,82	304,62	179,17
Кинематическая вязкость при 70°C, мм ² /с	96,39	88,30	83,10	59,29
Отношение кинематической вязкости при 50°C к кинематической вязкости при 70°C	3,76	3,70	3,67	3,18

Степень очистки исходного продукта от ароматических соединений оценивалась по таким параметрам, как показатель преломления и анилиновая точка. По результатам определения показателя преломления установлено, что очистка ВД-4 приводит к понижению данного показателя, что свидетельствует об очистке исходного продукта от ароматических соединений. Показатель анилиновой точки используется для косвенной оценки состава масел. Анилиновая точка тем выше, чем ниже содержание в продукте ароматических углеводородов.

Результаты определения анилиновой точки выявили аналогичную зависимость, как и в случае с показателем преломления. При этом наибольшее значение анилиновой точки (59°C) имеют рафинаты, полученные очисткой ВД-4 растворителем состава N-метилпирролидон + 10 мас. % этиленгликоля.

Важнейшим фактором, определяющим эксплуатационные свойства материалов, является совместимость входящих в их состав полимеров и пластификаторов. Совместимостью, по существу, определяется возможность использования того или иного вещества в качестве пластификатора [12].

Исследование совместимости пластифицирующих компонентов с резиновой смесью осуществлялось при температуре 70°C до установления сорбционного равновесия [13]. На основании полученных результатов был определен параметр, характеризующий взаимодействие каучука с пластификатором (параметр Хаггинса), а также коэффициент диффузии пластифицирующих компонентов в объеме полимера. Результаты определения термодинамической совместимости резиновой смеси с пластифицирующими компонентами представлены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты определения термодинамической совместимости

Наименование пластифицирующей добавки	Параметр Хаггинса	Коэффициент диффузии, $10^{12} \text{ м}^2/\text{с}$
ВД-4	0,6	2,05
ВД-4 + ТЭГ	0,6	3,60
ВД-4 + ДСО	0,6	4,00
ВД-4 + N-МП + 10%ЭГ	0,7	2,65

Определение вязкостных и релаксационных показателей резиновых смесей проводили на роторном вискозиметре MV 2000 по ГОСТ Р 54552–2011. Испытания по определению упругопрочностных свойств резин выполнялись согласно ГОСТ 270–75. Твердость резин оценивалась в соответствии с ГОСТ 263–75. Согласно

ГОСТ 426–77 на машине МИ-2 оценивалась износостойкость исследуемых вулканизатов.

Технологические свойства резиновых смесей характеризуют их поведение в процессе переработки. Они влияют на производительность технологического процесса и качество готовой продукции [14].

Результаты определения вязкости по Муни резиновых смесей (табл. 3) показали, что введение очищенных рафинатов приводит к увеличению на 11,7–24,5% данного показателя по сравнению с композициями, содержащими неочищенный ВД-4. Так, значения вязкости по Муни смесей, содержащих 2,5 мас. ч. ВД-4 + ТЭГ, ВД-4 + ДСО, ВД-4 + N-МП + 10%ЭГ, составляет 39,1; 39,7 и 42,7 усл. ед. Муни, а для эластомерных композиций, содержащих ВД-4 в той же дозировке, – 34,3 усл. ед. Муни. Выявленный характер изменения вязкости эластомерных композиций может быть обусловлен составом и совместимостью пластифицирующих компонентов с эластомерной матрицей [15]. При этом установлено, что повышение дозировки пластифицирующих добавок до 5,0 мас. ч. практически не оказывает влияния на вязкость по Муни исследуемых смесей.

Таблица 3
Технологические свойства резиновых смесей

Наименование пластифицирующей добавки	Дозировка, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука	Вязкость по Муни резиновой смеси, усл. ед. Муни	$\text{tg}\alpha'$
ВД-4	2,5	34,3	–0,475
	5,0	34,9	–0,489
ВД-4 + ТЭГ	2,5	39,1	–0,499
	5,0	39,0	–0,475
ВД-4 + ДСО	2,5	39,7	–0,483
	5,0	39,8	–0,526
ВД-4 + N-МП + 10%ЭГ	2,5	42,7	–0,505
	5,0	40,9	–0,528

Установлено, что резиновые смеси, содержащие очищенные дистилляты, имеют большую скорость протекания релаксационных процессов, о чем свидетельствуют более низкие значения $\text{tg}\alpha'$. Так, значения данного показателя для композиций, содержащих очищенные рафинаты, находятся в пределах от –0,528 до –0,475, а для неочищенного ВД-4 изменяется от –0,475 до –0,489.

Условная прочность при растяжении, условное напряжение при заданном удлинении и относительное удлинение при разрыве являются основными физико-механическими показателями

резины. Результаты определения упругопрочностных свойств образцов при растяжении приведены в табл. 4.

Таблица 4
Упругопрочностные свойства резин

Наименование пластифицирующей добавки	Дозировка, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука	f_{ϵ} , МПа	f_p , МПа	ϵ_p , %	
ВД-4	2,5	2,16	14,97	680	
	5,0	2,23	15,56	670	
ВД-4 + ТЭГ	2,5	4,36	17,11	630	
	5,0	4,56	17,85	620	620
ВД-4 + ДСО	2,5	4,64	17,45	630	
	5,0	4,59	17,45	670	
ВД-4 + N-МП + + 10%ЭГ	2,5	4,88	18,29	620	
	5,0	4,52	17,41	680	

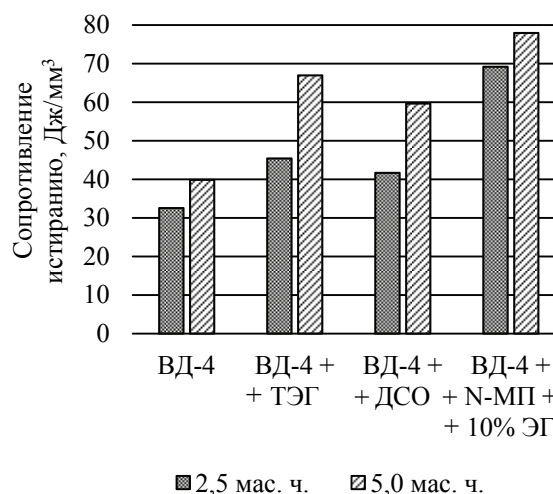
Примечание. f_{ϵ} – условное напряжение при 300%-ном удлинении, МПа; f_p – условная прочность при растяжении, МПа; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве, %.

Полученные экспериментальные данные показывают, что введение в резиновые смеси рафинатов способствует повышению условного напряжения при 300%-ном удлинении в 2,0–2,3 раза. Аналогичный характер изменения свойств выявлен и в случае определения условной прочности при растяжении. Значения данного показателя у резин, содержащих очищенные продукты, увеличиваются на 10,0–22,2% по сравнению с вулканизатами с неочищенным образцом. Так, значения условной прочности при растяжении резин, содержащих ВД-4, составляют в зависимости от дозировки пластифицирующего компонента 14,97–15,56 МПа, а для вулканизатов с ВД-4 + ТЭГ, ВД-4 + ДСО и ВД-4 + N-МП + 10%ЭГ находится в пределах 17,11–18,29 МПа. В то же время применение в резиновых смесях очищенных рафинатов приводит к некоторому снижению (до 8,8%) относительного удлинения при разрыве. Так, значения данного показателя образца сравнения составляет 680 и 670% при дозировках ВД-4 2,5 и 5,0 мас. ч. соответственно, а у резин с: ВД-4 + ТЭГ, ВД-4 + ДСО и ВД-4 + N-МП + 10%ЭГ находится в пределах 620–680%. Выявленный характер изменения прочностных свойств вулканизатов, вероятно, обусловлен тем, что введение в резиновые смеси малых дозировок пластификатора повышает гибкость макромолекул, облегчает их ориентацию в месте роста области разрыва, способствует перераспределению перенапряжений и тем самым приводит к увеличению прочности резин [14].

Сопротивление истиранию при скольжении вулканизатов является весьма важным эксплуатационным свойством для эластомерных ком-

позиций, которые применяются непосредственно для производства формовых и неформовых резинотехнических изделий.

Установлено (рисунок), что резины, содержащие очищенные продукты, характеризуются повышенной стойкостью к истиранию по сравнению с композициями, содержащими ВД-4. Введение в эластомерные композиции очищенных рафинатов приводит к увеличению значения сопротивления истиранию резин на 28–96%.



Сопротивление истиранию резин

Влияние исследуемых компонентов на износостойкость резин, вероятно, обусловлено получением эластомерных композиций, которые характеризуются меньшей дефектностью структуры ввиду наиболее равномерного распределения компонентов в объеме полимерной матрицы, а также пространственной сеткой вулканизата, которая способствует обеспечению высокой стойкости к разрушению поверхностного слоя резины в зоне контакта с контртелом.

Заключение. Проведенные исследования показали целесообразность использования рафинатов в качестве пластифицирующих добавок резиновых смесей на основе каучуков общего назначения для изготовления резинотехнических изделий.

Выявлено, что лучшей совместимостью с резиновой смесью обладают рафинаты, полученные очисткой триэтиленгликолем и диметилсульфоксидом. Определено, что введение в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД очищенных масел приводит к увеличению вязкости по Муни. Установлено, что вулканизаты, содержащие полученные рафинаты, обладают повышенными значениями условного напряжения при заданном удлинении, а также условной прочности при растяжении. Показано, что применение

в составе промышленных резиновых смесей на основе комбинаций каучуков СКИ-3 + СКД пластифицирующего компонента ВД-4, очищенного N-метилпирролидоном + 10 мас. % этиленгликоля, позволяет увеличить сопротив-

ление истиранию при скольжении резин по сравнению с композициями, содержащими ВД-4, что, вероятно, обусловлено получением эластомерных композиций, которые характеризуются меньшей дефектностью структуры.

Список литературы

1. 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. № 14 (2). С. 222–232.
2. Лакеев С. Н., Майданова И. О., Ишалина О. В. Основы производства пластификаторов: Уфа: УГНТУ, 2015. 163 с.
3. Марк Дж., Эрман Б., Эйрич Ф. Каучук и резина. Наука и технология. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 768 с.
4. Осовская И. И., Савина Е. В., Левич В. Е. Эластомеры: Санкт-Петербург: Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, 2016. 126 с.
5. Большой справочник резинщика. Ч. 1. Каучуки и ингредиенты / под ред. С. В. Резниченко. М.: Издательский центр «Техинформ» МАИ, 2012. 744 с.
6. Технологии производства экологически безопасных масел-пластификаторов / С. В. Заглядова [и др.] // Нефтехимия. 2017. Т. 57, № 6. С. 726–736.
7. Грушова Е. И., Жолнеркевич В. И. Сравнительный анализ экстрагирующей способности растворителей для очистки ароматических масел от полициклических ароматических углеводородов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2021. № 2 (241). С. 133–137.
8. Исследование экстракции канцерогенных полициклоаренов в аппарате с насадкой / О. М. Флисюк [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2021. № 56 (82). С. 51–56.
9. 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.
10. Гайле А. А., Клементьев В. Н., Большакова А. Р. Получение экологически чистых пластификаторов экстракционной очисткой ароматических концентратов от канцерогенных компонентов смесями N-метилпирролидона с этиленгликолем // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2020. № 52. С. 82–86.
11. Билал Б., Гайле А. А., Кузичкин Н. В. Получение экологически безопасных ароматических масел-мягчителей каучука и резины // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2015. № 30. С. 42–48.
12. Чеканова А. А., Костыркина Г. И. Методическое пособие для выполнения лабораторного практикума по физике и химии высокомолекулярных соединений. Ярославль: ЯПИ, 1974. 144 с.
13. Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред: ГОСТ 12020–2018. Минск: Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2018. 26 с.
14. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.
15. Карманова О. В. Решение задачи кинетики вулканизации с использованием численных методов // Труды БГТУ. 2012. № 4 (151): Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 61–63.

References

1. 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. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii* [Journal of the Siberian Federal University. Technics and technology], 2021, no. 14, pp. 222–232 (In Russian).
2. Lakeev S. N., Maydanova I. O., Ishalina O. V. *Osnovy proizvodstva plastifikatorov* [Fundamentals of the production of plasticizers]. Ufa, UGNTU Publ., 2015. 163 p. (In Russian).
3. Mark Dzh., Erman B., Eyrich F. *Kauchuk i rezina. Nauka i tekhnologiya* [Rubber and rubber. Science and technology]. Dolgoprudny, Intellekt Publ., 2011. 768 p. (In Russian).
4. Osovskaya I. I., Savina E. V., Levich V. E. *Elastomery* [Elastomers]. St. Petersburg, Vysshaya shkola tekhnologii i energetiki SPbGUPTD Publ., 2016. 126 p. (In Russian).

5. Reznichenko S. V. *Bol'shoy spravochnik rezinshchika. Chast' 1. Kauchuki i ingredienty* [Big reference book of a rezinshchik. Part 1. Rubbers and ingredients]. Moscow, Tekhninform Publ., 2012. 744 p. (In Russian).
6. Zaglyadova S. V., Antonov S. A., Maslov I. A., Kitova M. V., Rudyak K. B., Leymeter T. D. Technologies for the production of environmentally friendly oils-plasticizers. *Neftekhimiya* [Petrochemistry], 2017, vol. 57, no. 6, pp. 726–736 (In Russian).
7. Grushova E. I., Zholnerkevich V. I. Comparative analysis of the extracting ability of solvents for purification of aromatic oils from polycyclic aromatic hydrocarbons. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Technologies, Biotechnology, Geocology, 2021, no. 2, pp. 133–137 (In Russian).
8. Flisyuk O. M., Gajle A. A., Konstantinov V. A., Lihachyov I. G., Borisova E. I. Study of the extraction of carcinogenic polycycloarenes in an apparatus with a nozzle. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2021, no. 56, pp. 51–56 (In Russian).
9. 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.
10. Gaile A. A., Klementyev V. N., Bolshakova A. R. Producing of ecologically clean plasticizers with extraction purification of aromatic concentrates from carcinogenic components with N-methylpyrrolidone and ethyleneglycol mixtures. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2020, no. 52, pp. 82–86 (In Russian).
11. Bilal B., Gajle A. A., Kuzichkin N. V. Obtaining environmentally friendly aromatic oils-softeners of rubber and rubber. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2015, no. 30, pp. 42–48 (In Russian).
12. Chekanova A. A., Kostyrkina G. I. *Metodicheskoye posobiye dlya vypolneniya laboratornogo praktikuma po fizike i khimii vysokomolekulyarnykh soyedineniy* [Methodical manual for the implementation of a laboratory workshop on the physics and chemistry of macromolecular compounds]. Yaroslavl', YaPI Publ., 1974. 144 p. (In Russian).
13. GOST 12020–2018. Plastics. Methods for determining resistance to chemical media. Minsk, Mezhdunarodnyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2018. 26 p. (In Russian).
14. Zhovner N. A., Chirkova N. V., Khlebov G. A. *Struktura i svoystva materialov na osnove elastomerov* [Structure and properties of materials based on elastomers]. Omsk, Filial RosZITLP Publ., 2003. 276 p. (In Russian).
15. Karmanova O. V. Solving the problem of vulcanization kinetics using numerical methods. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 4: Chemistry, Technology of Organic Substances and Biotechnology, pp. 61–63 (In Russian).

Информация об авторах

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

Грушова Евгения Ивановна – доктор технических наук, профессор кафедры нефтегазопереработки и нефтехимии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: grushova.e@mail.ru

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

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

Information about the authors

Krotova Ol'ga Aleksandrovna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, 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), 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

Grushova Evgeniya Ivanovna – DSc (Engineering), Professor, the Department of Oil and Gas Processing and Petroleum Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: grushova.e@mail.ru

Bogdanovich Diana – Student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bogdanovichdiana@mail.ru

Zholnerkevich Veronika Igorevna – Student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Поступила 16.05.2022