

УДК 678.049

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Исследовано влияние экстракта селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 и его рафинатов, применяемых в качестве пластифицирующих добавок, на технологические свойства эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения. Исследуемые добавки представляют собой очищенные различными технологиями пластифицирующие компоненты, выделенные из дистиллята ВД-4. Образцом сравнения являлась резиновая смесь на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД, содержащая промышленный пластификатор – масло И-40. Исследуемые пластифицирующие компоненты вводились в резиновые смеси в дозировке 5,0 и 10,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Анализ результатов исследования совместимости пластифицирующих добавок с эластомерной матрицей выявил, что очистка вакуумного дистиллята ВД-4 приводит к улучшению указанного показателя, о чем свидетельствуют более низкие значения параметра Хаггинса. Установлено, что введение рафинатов экстракта селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 приводит к увеличению вязкости по Муни (до 17,4%) и минимального крутящего момента (до 17,8%) и практически не оказывает влияния на максимальный крутящий момент и время достижения оптимальной степени вулканизации по сравнению с композициями, содержащими масло И-40.

Ключевые слова: эластомерная композиция, пластифицирующая добавка, каучук общего назначения, нефтяное масло, рафинат, совместимость, вязкость по Муни, оптимальное время вулканизации.

Для цитирования: Кротова О. А., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Богданович Д. А., Жолнеркевич В. И. Исследование влияния пластифицирующих компонентов на свойства эластомерных композиций на основе каучуков общего назначения // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 1 (277). С. 75–81.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-10.

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

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

The influence of the extract of selective purification of vacuum distillate VD-4 and its refineries used as plasticizing additives on the technological properties of elastomeric compositions based on a combination of general purpose rubbers has been studied. The studied additives are plasticizing components purified by various technologies and isolated from VD-4 distillate. The comparison sample was a rubber mixture based on a combination of SKI-3 and SKD rubbers, containing the industrial plasticizer I-40 oil. The studied plasticizing components were introduced into rubber mixtures at a dosage of 5.0 and 10.0 phr. An analysis of the results of a study of the compatibility of plasticizing additives with an elastomeric matrix revealed that the purification of vacuum distillate VD-4 leads to an improvement in this indicator, as evidenced by lower values of the Huggins parameter. It was revealed that the introduction of refined extracts of the selective purification of vacuum distillate VD-4 leads to an increase in the viscosity of the Muni (up to 17.4%) and the minimum torque (up to 17.8%) and practically has no effect on the maximum torque and the time to achieve the optimal degree of vulcanization compared with compositions containing oil I-40.

Keywords: elastomeric composition, plasticizing additive, general purpose rubber, petroleum oil, refined, compatibility, Mooney viscosity, optimal vulcanization time.

For citation: 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. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 1 (277), pp. 75–81 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-10.

Введение. Одним из методов модификации эластомерных композиций является пластификация. Суть ее состоит в изменении свойств полимеров путем введения в них добавок низкомолекулярных веществ – пластификаторов, влияющих на вязкость системы, гибкость макромолекул, подвижность надмолекулярных структур. Пластифицирующие компоненты вводят в полимерные композиции с целью повышения их эластичности или эластичности при переработке и эксплуатации [1].

Введение мягчителей в резиновую смесь повышает гибкость макромолекул каучука за счет стерических эффектов, изменения расположения макромолекул в системе «каучук – пластификатор», что приводит к уменьшению энергетических взаимодействий, обуславливающих снижение вязкости и образование более текучей системы, т. е. в конечном счете к улучшению технологических свойств и обрабатываемости резиновых смесей. В результате создаются благоприятные условия для лучшего диспергирования техуглерода и других ингредиентов, снижения опасности преждевременной вулканизации резиновых смесей, а также уменьшаются энергозатраты, температура, время смешения и переработки смесей. Немаловажным также является экономический фактор: применение масел обеспечивает снижение стоимости смесей [2].

В настоящее время в качестве мягчителей в резиновой промышленности находят широкое применение нефтяные масла, которые в полной мере отвечают основным требованиям, предъявляемым к пластификаторам. Пластифицирующие добавки, используемые в производстве резинотехнических изделий, как правило, представляют собой пластификаторы на нефтяной основе, такие как парафиновое, нафтеновое и ароматическое масла, которые не являются устойчивыми. Более того, часто используемое ароматическое масло содержит значительное количество канцерогенных полициклических ароматических углеводородов. Выделение этих ароматических углеводородных масел при производстве, использовании и вторичной переработке резиновых изделий может нанести вред здоровью человека и серьезно загрязнить окружающую среду. Пластификаторы на нефтяной основе с малой молекулярной массой могут улетучиваться при термической обработке, что приводит к ухудшению механических свойств резины. Учитывая данные недостатки, важно найти экологически чистые, безвредные нефтяные пластификаторы для резины [3].

Для получения нефтяного масла, удовлетворяющего экологическим требованиям к пластификаторам каучука, резины в соответствии с Директивой 2005/69/ЕС [4], вступившей в силу в

Евросоюзе с 1 января 2010 г., используют экстракцию различными экстрагентами.

В качестве экстрагентов для удаления канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) из экстрактов дистиллятного и остаточного сырья и получения экологически безопасных пластификаторов предложено использовать фурфурол, диметилсульфоксид, фенол, пропиленкарбонат, раствор ацетанилида в диметилформамиде или диметилсульфоксиде, N-метилпирролидон. Важное преимущество N-метилпирролидона по сравнению с диметилсульфоксидом – большее повышение селективности при увеличении числа ароматических циклов в молекулах углеводородов. [5].

Основная часть. Цель работы – исследование влияния экстракта селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 и его рафинатов на технологические свойства наполненных резиновых смесей на основе комбинации каучуков общего назначения.

Объектами исследования являлись эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД, содержащие нефтяные масла.

В данной работе в качестве пластифицирующих компонентов использовались побочный продукт масляного производства (экстракт селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4, (ОАО «Нафтан»)) и продукты его очистки. Очистка побочного продукта осуществлялась двумя способами.

Первый способ заключался в обработке экстракта селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 СВЧ-излучением в течение 3 мин в микроволновой печи Media EM 720CEE и последующей экстракцией селективными растворителями. Экстракционную обработку проводили смешевым растворителем состава N-метилпирролидон + 10 мас. % этиленгликоля при температуре 50°C и кратности растворитель : сырье, равной 2 : 1 мас. ч. Полученные рафинатные и экстрактные растворы разделяли. Экстракт из экстрактного раствора выделяли вакуумной перегонкой, а рафинатный раствор промывали водой до показателя преломления промывных вод $n_D^{20} = 1,3333$ с последующей сушкой над цеолитом NaA.

Второй способ заключался в окислении экстракта селективной очистки 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. Выделенный органический слой после окисления промывали водой до показателя преломления промывных вод $n_D^{20} = 1,3333$ и сушили над цеолитом NaA. Дальнейшую экстракционную очистку осушенного органического слоя проводили аналогично

первому способу. Также в качестве исследуемого масла изучен экстракт селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-4 после экстракционной обработки в аналогично представленных выше условиях, но без предварительной обработки СВЧ-облучением или окисления.

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

Степень очистки исходного продукта от ароматических соединений оценивалась по таким параметрам, как показатель преломления, общее содержание серы и кислотное число. Результаты определения показателя преломления показали (табл. 1), что очистка экстракта ВД-4 приводит к понижению данного показателя, а это свидетельствует об очистке исходного продукта от ароматических соединений. Кислотное число нефтей и нефтяных дистиллятов служит для вычисления в них ресурсов нафтеновых кислот, а также характеризует степень их очистки от примесей. Выявлено, что очистка экстракта ВД-4 приводит к уменьшению до 35% кислотного числа. Присутствие серосодержащих соединений в нефтяных маслах нежелательно, так как они придают нефтепродуктам неприятный запах, вызывают коррозию оборудования и загрязняют атмосферу при сгорании. Соединения серы отравляют дорогостоящие катализаторы переработки нефти и, выделяя в атмосферу оксиды серы при сгорании, создают экологические проблемы. Результаты определения содержания серы выявили аналогичную зависимость, как и в

случаях с показателем преломления и кислотным числом [6, 7].

Одним из важнейших требований для процесса пластификации является совместимость пластификатора с полимером, т. е. образование истинного раствора пластификатора в полимере. Совместимость пластификатора и полимера определяется химической природой полимера и пластификатора – строением и полярностью [8].

В настоящее время широко используется метод оценки термодинамической совместимости пластификатора с полимером по параметру растворимости, определяемого методом равновесного набухания, на основании результатов которого определяется параметр, характеризующий взаимодействие каучука с пластификатором (параметр Хаггинса), а также коэффициент диффузии пластифицирующих компонентов в объеме полимера. Параметр Хаггинса зависит от молекулярной массы полимера и свойств системы «полимер – растворитель» и может служить характеристикой интенсивности их взаимодействия. Значение данного показателя дает возможность оценить степень сродства между полимером и растворителем [9].

Исследование совместимости пластифицирующих компонентов с резиновой смесью осуществлялось при температуре 70°C до установления сорбционного равновесия [10]. На основании полученных результатов определялся параметр, характеризующий взаимодействие каучука с пластификатором (параметр Хаггинса), а также коэффициент диффузии пластифицирующих компонентов в объеме полимера. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика масел

Показатель	Значение				
	И-40	экстракт ВД-4	рафинат, выделенный из экстракта ВД-4 + N-МП + 10 мас. % ЭГ	рафинат, выделенный из окисленного экстракта ВД-4 + N-МП + 10 мас. % ЭГ	рафинат, выделенный из экстракта ВД-4 после СВЧ 3 мин + N-МП + 10 мас. % ЭГ
Показатель преломления	1,4869	1,5552	1,5324	1,5354	1,5334
Общее содержание серы, ppm	9 144	36 568	32 516	31 067	32 332
Кинематическая вязкость при 50°C, мм ² /с	32,3	368,5	162,0	184,6	160,4
Кинематическая вязкость при 70°C, мм ² /с	15,66	96,83	52,73	57,23	52,73
Отношение кинематической вязкости при 50°C к кинематической вязкости при 70°C	2,06	3,82	3,07	3,23	3,04
Кислотное число, мг КОН/ г	Не более 0,05	3,70	2,74	2,40	3,64

Таблица 2

**Результаты определения
термодинамической совместимости**

Наименование пластифицирующей добавки	Параметр Хаггинса	Коэффициент диффузии, $10^{12} \text{ см}^2/\text{с}$
И-40	0,7	4,08
Экстракт ВД-4	0,7	2,05
Рафинат, выделенный из экстракта ВД-4 + N-МП + 10 мас. % ЭГ	0,6	2,65
Рафинат, выделенный из окисленного экстракта ВД-4 + N-МП + 10 мас. % ЭГ	0,6	2,17
Рафинат, выделенный из экстракта ВД-4 после СВЧ 3 мин + N-МП + 10 мас. % ЭГ	0,6	2,40

Установлено, что рафинаты ВД-4 обладают лучшей термодинамической совместимостью с эластомерной матрицей на основе каучуков СКИ-3 и СКД по сравнению с промышленным маслом И-40 и экстрактом ВД-4, о чем свидетельствуют меньшие значения параметра Хаггинса. Так, значение данного показателя для образцов со всеми рафинами составляет 0,6, а в случае масла И-40 и экстракта ВД-4 – 0,7. Кроме того, выявлено, что рафинаты имеют более высокие значения коэффициента диффузии в объеме полимера по сравнению с экстрактом ВД-4, что, вероятно, обусловлено удалением в процессе получения очищенных пластифицирующих компонентов объемных ароматических соединений, которые могут затруднять диффузию ингредиентов между макромолекулами каучука.

Специфику переработки каучуков, а также резиновых смесей определяют их вязкоупругие свойства. Одним из методов в исследовании молекулярной структуры каучуков и резиновых смесей является испытание по Муни [11].

Определение вязкости по Муни резиновых смесей осуществляли на сдвиговом вискозиметре MV2000 по ГОСТ Р 54552–2011 [12].

Исследование вязкостных свойств резиновых смесей (табл. 3) выявило, что показатели вязкости по Муни имеют близкие значения для смесей, содержащих И-40 и экстракт ВД-4, в то время как введение в композиции рафинатов ВД-4 вызывает увеличение данного показателя на 6,6–17,4%. Так, вязкость по Муни смесей, содержащих 5,0 мас. ч. И-40 и экстракта ВД-4, составляет 35,7 и 36,5 усл. ед. Муни, а для эластомерных композиций, содержащих рафинат, выделенный из экстракта ВД-4 + N-МП + 10 мас. % ЭГ, и этого рафината после СВЧ-облучения в течение 3 мин в той же дозировке – 41,1 и 41,9 усл. ед. Муни соответственно. Вместе с тем повышение дозировки пластифицирующих добавок до 10,0 мас. ч. приводит к незначительному снижению вязкости по Муни. Выявленный характер изменения вязкости эластомерных композиций может быть обусловлен составом и совместимостью пластифицирующих компонентов с эластомерной матрицей [13, 14].

Определение кинетических параметров процесса вулканизации позволяет охарактеризовать влияние компонентов, входящих в состав резиновой смеси, на свойства эластомерных композиций в результате формирования структурной сетки вулканизата [15]. Исследование кинетики вулканизации резиновых смесей проводилось на реометре ODR 2000 по ГОСТ 12535–84 [16].

Таблица 3

Технологические свойства резиновых смесей

Показатель	Дозировка, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука	Значение				
		И-40	экстракт ВД-4	рафинат, выделенный из экстракта ВД-4 + N-МП + 10 мас. % ЭГ	рафинат, выделенный из окисленного экстракта ВД-4 + N-МП + 10 мас. % ЭГ	рафинат, выделенный из экстракта ВД-4 после СВЧ 3 мин + N-МП + 10 мас. % ЭГ
Вязкость по Муни резиновой смеси, усл. ед. Муни	5,0	35,7	36,5	41,1	38,7	41,9
	10,0	33,4	32,8	35,6	36,5	35,8
Минимальный крутящий момент, дН·м	5,0	3,53	3,46	4,10	4,09	4,16
	10,0	3,45	3,32	3,51	3,70	3,60
Максимальный крутящий момент, дН·м	5,0	36,92	34,24	38,12	38,04	36,65
	10,0	33,86	33,78	35,47	35,22	34,71
Оптимальное время вулканизации, мин	5,0	7,99	8,50	8,01	7,94	7,99
	10,0	8,39	8,66	8,24	8,08	8,36

Значения минимального крутящего момента косвенно позволяют охарактеризовать вязкоупругие свойства резиновых смесей [17]. Результаты определения минимального крутящего момента показали, что введение в резиновые смеси экстракта ВД-4 не оказывает значительного влияния на данный показатель по сравнению с маслом И-40.

Применение же очищенных компонентов в эластомерных композициях приводит к увеличению минимального крутящего момента до 17,8% по сравнению с резиновыми смесями, содержащими масло И-40. Так, значения минимального крутящего момента для смесей, содержащих масло И-40, в зависимости от дозировки изменяются от 3,45 до 3,53 дН·м, а для композиций с рафинатами значения данного показателя находятся в диапазоне 3,51–4,16 дН·м. Полученные данные по определению минимального крутящего момента согласуются с результатами при исследовании вязкости по Муни резиновых смесей.

Максимальный крутящий момент косвенно позволяет судить о свойствах вулканизатов [18], его увеличение или уменьшение свидетельствует об изменении структуры резины. Установлено незначительное влияние исследуемых добавок на максимальный крутящий момент и время достижения оптимальной степени вулканизации. Так, значения максимального крутящего момента образцов с маслом И-40 составляют 36,92 и 33,86 дН·м при их дозировках 5,0 и 10,0 мас. ч соответственно, а для резиновых смесей, содержащих исследуемые пластифицирующие компоненты, изменяются в пределах

33,78–38,12 дН·м. Время достижения оптимальной степени вулканизации для смесей, содержащих масло И-40, варьируется от 7,99 до 8,39 мин, для композиций с экстрактом ВД-4 и его рафинатами данный показатель изменяется в пределах 7,94–8,66 мин. Незначительные изменения оптимального времени вулканизации смесей позволяют сделать вывод, о том что применение исследуемых масел не потребует корректировки параметров технологического процесса изготовления резинотехнических изделий.

Заключение. Проведенные исследования показали возможность использования рафинатов экстракта ВД-4 в качестве пластифицирующих добавок резиновых смесей на основе каучуков общего назначения для изготовления резинотехнических изделий.

Выявлено, что эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД обладают лучшей термодинамической совместимостью с исследуемыми рафинатами по сравнению с маслом И-40 и экстрактом ВД-4, о чем свидетельствуют более низкие значения параметра Хаггинса. Установлено, что введение в резиновые смеси рафинатов приводит к увеличению вязкости по Муни (до 17,4%) и минимального крутящего момента (до 17,8%) эластомерных композиций и практически не оказывает влияния на максимальный крутящий момент и время достижения оптимальной степени вулканизации. Такой характер изменения характеристик смесей с исследуемыми добавками может быть обусловлен составом и совместимостью пластифицирующих компонентов с эластомерной матрицей.

Список литературы

1. Резниченко С. В., Морозов Ю. Л. Большой справочник резинщика: в 2 ч. М.: Техинформ, 2012. Ч. 1. 744 с.
2. Осовская И. И., Савина Е. В., Левич В. Е. Эластомеры: учеб. пособие. СПб.: Высшая школа технологии и энергетики, 2016. 126 с.
3. Plasticization Effect of Bio-Based Plasticizers from Soybean Oil for Tire Tread Rubber / Haoshu Xu [et al.] // *Polymers*. 2020. Vol. 12, no. 3. 10 p.
4. 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.
5. 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.
6. Наметкин Н. С., Егорова Г. М., Хамаев В. Х. Нафтенновые кислоты и продукты их химической переработки. М.: Химия, 1982. 184 с.
7. Новиков Е. А. Определение серы в нефтепродуктах. Обзор аналитических методов // *Мир нефтепродуктов*. 2008. № 4. С. 21–28.
8. Романов С. Н. Механизм действия пластификаторов для полимеров // Молодежный исследовательский потенциал: сб. ст. III Междунар. науч.-исслед. конкурса, Петрозаводск, 29 марта 2021 г. Петрозаводск, 2021. С. 196–200.
9. Исследование совместимости пластифицирующих добавок на основе вторичного нефтехимического сырья с эластомерной матрицей / А. В. Лешкевич [и др.] // *Вестник ВГУИТ*. 2019. Т. 81, № 4. С. 190–195.

10. Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред: ГОСТ 12020–2018. Минск: Междунар. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2018. 26 с.
11. Гавлик А. М. Исследование влияния углеродных наноматериалов на пластозластические свойства резиновых смесей // НИРС 2019: сб. науч. работ студентов Респ. Беларусь. Минск: Изд. центр БГУ, 2020. Вып. 16. С. 82.
12. Каучуки и резиновые смеси. Определение вязкости, релаксации напряжения и характеристик подвулканизации с использованием вискозиметра Муни: ГОСТ Р 54552–2011. Минск: Междунар. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2014. 30 с.
13. 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.
14. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.
15. Свойства модельных резиновых смесей с различными активаторами вулканизации / С. Н. Каюшников [и др.] // Труды БГТУ. 2014. № 4 (168): Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 35–39.
16. Смеси резиновые. Метод определения вулканизационных характеристик на вулканометре: ГОСТ 12535–84. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1986. 16 с.
17. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация / В. И. Овчаров [и др.]. М.: Сант-ТМ, 2001. 400 с.
18. Аверко-Антонович И. Ю., Бикмуллин Р. Т. Методы исследования структуры и свойств полимеров. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.

References

1. Reznichenko S. V., Morozov Yu. L. *Bol'shoy spravochnik rezinshchika* [Big rubber band guide]. Moscow, Tekhinform Publ., 2012. 744 p. (In Russian).
2. Osovskaya I. I., Savina E. V., Levich V. E. *Elastomery* [Elastomers]. St. Petersburg, Vysshaya shkola tekhnologii i energetiki Publ., 2016. 126 p. (In Russian).
3. Haoshu Xu, Tao Fan, Neng Ye, Weidong Wu, Daye Huan, Danling Wang, Zhao Wang, Liquan Zhang Plasticization Effect of Bio-Based Plasticizers from Soybean Oil for Tire Tread Rubber. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 3. 10 p.
4. 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.
5. Gajle A. A., Klement'ev V. N., Bol'shakova A. R. Obtaining environmentally friendly plasticizers by extraction purification of aromatic concentrates from carcinogenic components with mixtures of N-methylpyrrolidone with ethylene glycol. *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).
6. Nametkin N. S., Egorova G. M., Khamaev V. Kh. *Naftenovyye kisloty i produkty ikh khimicheskoy pererabotki* [Naphthenic acids and products of their chemical processing]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 184 p. (In Russian).
7. Novikov E. A. Determination of sulfur in petroleum products. Review of analytical methods. *Mir nefteproduktov* [World of petroleum products], 2008, no. 4, pp. 21–28 (In Russian).
8. Romanov S. N. Mechanism of action of plasticizers for polymers. *Molodezhnyy issledovatel'skiy potentsial: sbornik statey III Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa* [Youth research potential: collection of articles of the III International Research Competition]. Petrozavodsk, 2021, pp. 196–200 (In Russian).
9. Leshkevich A. V., Shashok Zh. S., Prokopchuk N. R., Uss E. P., Karmanova O. V. Compatibility study of plasticizing additives based on recycled raw materials in the petrochemical with elastomer matrix. *Vestnik VGUIT* [Bulletin of VSUET], 2019, vol. 81, no. 4, pp. 190–195 (In Russian).
10. GOST 12020–2018. Plastics. Methods for determining resistance to chemical media. Minsk, Mezhdunarodnyy совет по standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2018. 26 p. (In Russian).
11. Gавлик А. М. Investigation of the influence of carbon nanomaterials on the plastoelastic properties of rubber compounds. *NIRS 2019: sbornik nauchnykh работ studentov Respubliki Belarus'* [NIRS 2019: collection of scientific papers of students of the Republic of Belarus]. Minsk, 2020, issue 16. P. 82 (In Russian).
12. GOST R 54552–2011. Rubbers and rubber compounds. Determination of viscosity, stress relaxation and scorch characteristics using a Mooney viscometer. Minsk, Mezhdunarodnyy совет по standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 2014. 30 p. (In Russian).

13. Karmanova O. V. Solution of the problem of vulcanization kinetics using numerical methods. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 4 (151): Chemistry, Technology of Organic Substances and Biotechnology, pp. 61–63 (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. Kayushnikov S. N., Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S., Vishnevskiy K. V. Properties of model rubber compounds with various vulcanization activators. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 4 (168): Chemistry, Technology of Organic Substances and Biotechnology, pp. 35–39 (In Russian).

16. GOST 12535–84. Rubber compounds. Method for determining vulcanization characteristics on a volcameter. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1986. 16 p. (In Russian).

17. Ovcharov V. I., Burmistr M. V., Smirnov A. G., Tyutin V. A., Verbas V. V., Naumenko A. P. *Svoystva rezinovykh smesey i rezin: otsenka, regulirovaniye, stabilizatsiya* [Properties of rubber compounds and rubber: assessment, management, stabilization]. Moscow, SANT-TM Publ., 2001. 400 p. (In Russian).

18. Averko-Antonovich I. Y., Bikmullin R. T. *Metody issledovaniya struktury i svoystv polimerov* [Methods for studying the structure and properties of polymers]. Kazan, KGTU Publ., 2002. 604 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

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 нефтегазопереработки и нефтехимии. 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, 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

Bogdanovich Diana Anatol'yevna – 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 Oil and Gas Processing and Petrochemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Поступила 26.12.2023