

Фундаментальная и прикладная химия, химическая технология

Оригинальная статья/Original article

УДК 678.049

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-4-201-206>

Применение пластифицирующих добавок на основе вторичного нефтехимического сырья в резиновых смесях

Жанна С. Шашок	¹	shashok@belstu.by
Анастасия В. Лешкевич	¹	nastyonke@mail.ru
Наталья В. Круглик	²	natakru13@mail.ru
Ольга В. Карманова	³	karolga@mail.ru

¹ кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов, Белорусский государственный технический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

² ЗАО «Амкодор-Эластомер», ул. Пономаренко, 7-4, г. Минск, Республика Беларусь

³ кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. В настоящее время создание альтернативных продуктов для эластомеров на основе вторичного нефтехимического сырья является актуальной тенденцией в развитии резиновой промышленности. К числу таких продуктов на основе вторичного нефтехимического сырья относятся смазочные материалы и отработанные автомобильные масла. В связи с этим было исследовано влияние продуктов переработки отработанного машинного масла (ДВЧ и СР) в сравнении с промышленным маслом И-20 на технологические свойства наполненных эластомерных композиций на основе смеси полиизопренового (СКИ-3) и дивинилового (СКД) каучуков. Исследуемые пластифицирующие компоненты производства ИООО «ДВЧ-Менеджмент» (ДВЧ и СР) представляют смесь углеводородов C₁₆–C₂₀ и различаются между собой содержанием линейных и разветвленных парафинов. Установление пласто-эластических свойств резиновых смесей проводилось на сдвиговом дисковом вискозиметре MV2000 в соответствии с ГОСТ 10722–76, а исследование кинетики вулканизации – на реометре ODR2000 согласно ГОСТ 12535–84. Показано, что введение исследуемого пластифицирующего компонента СР оказывает более значительное влияние на вязкость по Муни, по сравнению с эластомерными композициями, содержащими промышленный пластификатор И-20 и пластифицирующую добавку ДВЧ. Выявлено, что введение всех исследуемых пластифицирующих компонентов в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД, не оказывает значительного влияния на коэффициент релаксации напряжений резиновых смесей. Установлено, что эластомерные композиции, содержащие в качестве исследуемых добавок продукты переработки отработанного масла (ДВЧ и СР) характеризуются несколько меньшим значением времени достижения оптимальной степени вулканизации.

Ключевые слова: каучук, пластификатор, вязкость по Муни, кинетика вулканизации, резиновая смесь, релаксация напряжений

The use of plasticizing additives based on recycled raw materials in the petrochemical rubber mixtures

Zhanna S. Shashok	¹	shashok@belstu.by
Anastasiya V. Leshkevich	¹	nastyonke@mail.ru
Nataliya V. Kruglik	²	natakru13@mail.ru
Olga V. Karmanova	³	karolga@mail.ru

¹ technology of petrochemical synthesis and polymer materials processing department, Belarusian state technological university, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus

² CJS “Amkodor-Elastomer”, Ponomarenko str., 7-4, Minsk, 220015, Republic of Belarus

³ chemistry and chemical technology of organic compounds and polymers processing department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

Summary. At present, the development of alternative products for elastomers based on recycling petrochemical raw materials is a new trend of the rubber industry progress. Petrochemical raw materials include spent lubricants and motor oils are among such recycling products. In this context, the influence of the products of recycling waste engine oil (DVCH and RA) in comparison with industrial oil (I-20) on the technological properties of filled elastomeric compositions was investigated. The elastomeric compositions were based on poly isoprene and divinyl rubbers. The plasticizing components were manufactured by IOOO “DVCH-Menedzhment”. They are mixture of hydro-carbons, C₁₆–C₂₀ and differ from each other in the content of linear and branched paraffin. Plastic-elastic properties of rubber compounds on the shear disk viscometer MV2000 in accordance with GOST 10722–76 was carried out. Kinetics of vulcanization on the rheometer ODR2000 according to GOST 12535–84 was defined. It is shown that the introduction of RA test plasticizing component provides a significant effect on Mooney viscosity, as compared to elastomeric compositions containing a plasticizer and I-20 and plasticizing additive DVCH. It revealed that the administration of all components in the studied plasticizing elastomer compositions based on a combination poly isoprene and divinyl rubbers has no significant effect on the rate of relaxation of stress of rubber compounds. It is found that elastomeric compositions containing as additives investigated processing waste oil products (DVCH and RA) are characterized by a slightly smaller value of time to reach an optimal degree of vulcanization.

Keywords: rubber, plasticizer, Mooney viscosity, kinetics of vulcanization, rubber mixture, relaxation

Для цитирования

Шашок Ж. С., Лешкевич А. В., Круглик Н. В., Карманова, О. В. Применение пластифицирующих добавок на основе вторичного нефтехимического сырья в резиновых смесях // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 201–206. doi:10.20914/2310-1202-2016-4-201-206

For citation

Shashok Zh. S., Leshkevich A. V., Kruglik N. V., Karmanova O. V. The use of plasticizing additives based on recycled raw materials in the petrochemical rubber mixtures. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 4. pp. 201–206. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-4-201-206

Введение

Создание альтернативных продуктов для эластомеров на основе вторичного нефтехимического сырья является актуальной тенденцией в развитии резиновой промышленности. Это направление включает в себя разработку технологии их изготовления и удобной выпускной формы, а также испытание полученных добавок в резинах на основе каучуков общего и специального назначения. Решение данных задач позволит уменьшить нагрузку на окружающую природную среду за счет использования в технологическом цикле продуктов, полученных при переработке отходов, получать экологически безопасные добавки, замещающие аналогичные на основе нефтехимического сырья, а также улучшить технологические свойства резиновых смесей при сохранении и / или повышении необходимого уровня физико-механических показателей [1–2].

В настоящее время актуальность рационального использования вторичных продуктов на основе нефтехимического сырья в технологии эластомеров является не только экологической проблемой, но и технико-экономической, так как доля сырья в себестоимости резиновых изделий составляет более 60%. К числу таких продуктов на основе вторичного нефтехимического сырья относятся смазочные материалы и отработанные автомобильные масла.

Смазочные материалы играют важную роль в эксплуатации современной техники, выполняя ряд функций: уменьшение трения и предотвращение износа трущихся поверхностей, а также использования в качестве электроизоляционной и теплоотводящей среды. Основная часть смазочных материалов изготавливается на нефтяной основе [3–4].

Незначительная часть применяемых смазочных материалов (10–20%) в процессе эксплуатации безвозвратно теряется на угар, испарение, унос, проливы и утечки. Основная же их часть (80–90%) в условиях эксплуатации претерпевает сложные физико-химические (термические, окислительные и т. д.) изменения состава и свойств: от простого загрязнения внешними примесями и внутренними продуктами износа до глубоких химических превращений, приводящих, в конечном итоге, к ухудшению эксплуатационных свойств масел. Смазочные материалы, непригодные к дальнейшему использованию, после окончания срока службы или по своему состоянию удаляются из системы смазки и заменяются свежими кондиционными нефтепродуктами, как следствие, увеличиваются объемы отработанных масел.

Автомобильное масло играет большую роль в работе двигателя автомобиля и проводить его замену необходимо регулярно. Однако

отработанное масло как продукт химического производства имеет потенциал к загрязнению окружающей среды [5].

Среди различных направлений использования отработанных масел наиболее важное место отводится методам очистки (регенерации) – полного восстановления их первоначальных свойств с целью повторного использования по прямому назначению. Восстановление первоначальных свойств производится, как правило, путем сложной многостадийной переработки на специализированных предприятиях [6].

На современном этапе развития промышленности весьма важным и актуальным является вопрос вовлечения в производство вторичного сырья, а именно, отработанных масел, которые представляют собой сырьевую базу для получения ценных нефтепродуктов при надлежащей переработке. Необходимо отметить, что отработанные моторные масла практически невозможно регенерировать, не применяя в процессе очистки достаточно жестких условий (температур, давлений, растворителей и т. д.), поскольку они работают при повышенных температурах и химическая основа масла подвергается сильным деструктивным процессам, кроме того, наличие в масле комплекса присадок также усложняет процесс очистки. Переработать отработанные масла совместно с нефтью на нефтеперерабатывающих заводах нельзя, т. к. присадки, содержащиеся в маслах, нарушают работу оборудования. Поэтому выбор метода очистки отработанных масел определяется характером содержащихся в них загрязнений и продуктов старения: для одних масел достаточно простой очистки от механических примесей, для других необходима глубокая переработка, иногда с использованием химических реагентов и сорбентов. К тому же, при разработке способа очистки масел необходимо стремиться к внедрению малоотходных или безотходных технологий, так как необходимость утилизации отходов создает проблемы для предприятий [3].

Целью данной работы являлось исследование влияния продуктов переработки отработанных масел (ДВЧ и СР) в сравнении с промышленным маслом И-20 на технологические свойства наполненных эластомерных композиций на основе комбинации полиизопренового (СКИ-3) и дивинилового (СКД) каучуков.

Исследуемый компонент ДВЧ представляет собой продукты переработки отработанных масел (состава С25–С29), прошедшие демецеллилизацию, выпаривание и удаление легких фракций, а продукт СР – селекционные отработанные масла (состава С16–С29), прошедшие коагуляционную очистку фракций. Содержание линейных и разветвленных парафинов в обоих случаях составляет 95%.

Регенерированная смесь углеводов, поставляемая в качестве исследуемых компонентов, имеет физико-химические характеристики, представленные в таблице 1.

Определение пласто-эластических свойств резиновых смесей проводилось на сдвиговом дисковом вискозиметре MV2000 в соответствии с ГОСТ 10722–76, а исследование кинетики вулканизации – на реометре ODR2000 согласно ГОСТ 12535–84.

Показатель вязкости резиновых смесей является одной из важнейших характеристик их реологических свойств, а также определяет динамику процесса переработки, служит мерой усилия, которое необходимо приложить к материалу для осуществления течения его с заданной скоростью на той или иной стадии процесса. В таблице 2 приведены результаты исследований по определению вязкости по Муни эластомерных композиций с различными пластифицирующими компонентами.

Таблица 1.
Физико-химические характеристики исследуемых пластифицирующих компонентов

Table 1.

Physical-chemical characteristics of the plasticizing components

Показатель Indicator	Исследуемый компонент ДВЧ Monitoring component	Исследуемый компонент СР Monitoring component
Плотность при 20 °С, г/см ³ Density at 20 °С, g/cm ³	880–885	885–890
Вязкость кинематическая, при 40 °С, сСт Coefficient of kinematic viscosity at 40 °С, cSt	55–60	50–70
Кислотное число, мг КОН/г, не более Acidity index, mg KOH, not more than	0–4	1–3
Температура вспышки, °С, не ниже Flash Temperature, °С, not less	195–210	185–195
Температура потери текучести, °С, не выше Pour point, °С, not more than	-23÷-30	-27

Таблица 2.

Вязкость по Муни исследуемых резиновых смесей

Table 2.

Mooney viscosity of the rubber compounds

Наименование введенного ингредиента Ingredient name	Начальная вязкость резиновой смеси, усл. ед. Муни, (Unit) Initial viscosity of the rubber mixture, Mooney units.	Вязкость резиновой смеси, усл. ед. Муни, M _L The viscosity of the rubber compound, Mooney units.
Масло И-20 Oil I-20	52,7	39,4
Пластифицирующий компонент ДВЧ Plasticizing component DVCH	47,1	38,6
Пластифицирующий компонент СР Plasticizing component RA	47,7	33,9

Определение вязкости по Муни резиновых смесей на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД показало, что введение пластифицирующего компонента СР оказывает более значительное влияние на данный показатель по сравнению с эластомерными композициями, содержащими промышленный пластификатор И-20 и пластифицирующую добавку ДВЧ. Так, вязкость по Муни резиновой смеси на основе смеси СКИ-3 и СКД, содержащей в качестве пластифицирующего компонента СР составляет 33,9 усл. ед. Муни, а при введении исследуемой добавки ДВЧ и промышленного пластификатора И-20 – 38,6 и 39,4 усл. ед. Муни соответственно.

Введение пластифицирующих компонентов способствует более равномерному распределению ингредиентов в резиновой смеси, при этом уменьшается разогрев при смешении, тем самым предотвращается, в известной мере, преждевременная вулканизация смесей, снижается расход электроэнергии на изготовление и последующую обработку резиновых смесей. Специфику переработки каучуков и резиновых смесей определяют их вязко-упругие свойства, проявляющиеся в развитии высокоэластичных деформаций, нарастающих до максимума и реализующих структурную релаксацию напряжений. Испытания по определению вязкости по Муни в подобных случаях оказывается недостаточно

для определения всех особенностей переработки эластомерных композиций, поэтому применяют релаксационные показатели.

Определение релаксации напряжений эластомерных композиции, содержащих различные пластифицирующие компоненты, проводили на вискозиметре MV2000, который

в течение минуты после остановки ротора фиксировал показания остаточного крутящего момента через небольшие промежутки времени. На основании полученных данных рассчитывался коэффициент релаксации (K_p), являющийся одним из критериев оценки перерабатываемости каучуков и резиновых смесей (таблица 3).

Показатели релаксации напряжений резиновых смесей

Таблица 3.

Stress relaxation performance rubber compounds

Table 3.

Наименование введенного ингредиента Ingredient name	Показатели релаксации резиновых смесей Stress relaxation performance rubber compounds	
	Slope ($tg\alpha'$)	$K_p, \%$
Масло И-20 Oil I-20	-0,550	64,72
Пластифицирующий компонент ДВЧ Plasticizing component DVCH	-0,576	64,25
Пластифицирующий компонент СР Plasticizing component RA	-0,525	64,83

Тангенс угла наклона касательной к графику релаксации через 1 с после остановки ротора ($tg\alpha'$), или наклон кривой релаксации в логарифмических координатах (α), является мерой скорости релаксации. На наклон кривой релаксации могут оказывать влияние процесс полимеризации, молекулярно-массовое распределение, разветвление, средняя молекулярная масса, микроструктура, содержание наполнителей, размер их частиц, содержание пластификаторов, добавок, метод смешения и др.

Исследования релаксации напряжений резиновых смесей с различными пластифицирующими компонентами выявили, что введение их в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД, не оказывает значительного влияния на коэффициент релаксации напряжений резиновых смесей. Изменение данного показателя для смесей с исследуемыми добавками не превышает 1% по сравнению с композицией с промышленным пластификатором.

Метод определения релаксации напряжений сдвига позволяет оценить молекулярно-структурные характеристики эластомерных композиций, а также технологические свойства резиновых смесей. Малое изменение значений релаксационных характеристик при введении различных пластифицирующих компонентов может косвенно свидетельствовать о совмещении добавок с полимером, т. е. о происхождении молекулярного диспергирования за счет

термодинамического сродства пластификатора к полимеру.

Резины представляют собой продукты вулканизации резиновых смесей. Сущность процессов вулканизации заключается в соединении макромолекул каучука поперечными связями различной природы и энергии в пространственную вулканизационную сетку [7]. На данный процесс оказывают влияние все ингредиенты эластомерной композиции.

Вулканизация – это комплекс физико-химических процессов, протекающих в резиновой смеси, основным из которых является соединение (сшивание) макромолекул каучука химическими связями различной энергии и природы в пространственную вулканизационную сетку. При этом свойства таких сеток во многом зависят от распределения и концентрации химических связей, средней молекулярной массы и молекулярно-массового распределения каучука. Определение кинетики вулканизации резиновых смесей на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД проводили при температурах 143 °С и 153 °С.

В таблице 4 представлены результаты исследований кинетики вулканизации резиновых смесей. Анализ данных таблицы 4 показал, что замена промышленного пластификатора – масла И-20 на исследуемые пластифицирующие добавки оказывает влияние на кинетические параметры процесса вулканизации.

Кинетика вулканизации резиновых смесей

Table 4.

The kinetics of vulcanization of rubber compounds

Наименование введенного ингредиента Ingredient name	Масло И-20 Oil I-20		Пластифицирующий компонент ДВЧ Plasticizing component DVCH		Пластифицирующий компонент СР Plasticizing component RA	
	Показатель Index name					
Температура испытаний, °С Temperature test, °C	143	153	143	153	143	153
Минимальный крутящий момент, дН·м Minimum torque, dN·m	4,00	3,84	4,02	4,08	4,38	6,68
Максимальный крутящий момент, дН·м Maximum torque, dN·m	35,47	34,20	36,41	35,66	35,92	36,92
Время увеличения мини-мального крутящего момента на 2 ед., мин Longer minimum torque by 2 units., min	5,69	3,21	5,15	2,98	4,46	1,60
Время достижения заданной степени вулканизации, мин The time to reach the desired degree of vulcanization, min	8,58	4,65	7,69	4,22	6,72	3,02
Скорость вулканизации, дН·м/мин Cure rate, dN·m/min	6,55	12,55	7,85	15,70	8,05	12,96
Разница между максимальным и минимальным крутящим моментом, дН·м The difference between maximum and minimum torque, dN·m	31,47	30,36	32,39	31,58	31,54	30,24
Время достижения максимальной скорости вулканизации, мин Time to reach maximum cure rate, min	7,86	4,38	7,06	4,01	6,07	2,82

Время увеличения минимального крутящего момента на 2 единицы при обеих температурах в резиновых смесях, содержащих отработанные масла ДВЧ и СР, снизилось на 9–22% по отношению к образцам, содержащим промышленный пластификатор, для которых этот показатель при температурах 143 °С и 153 °С составляет 5,69 и 3,21 мин соответственно. В этих случаях, стойкость к подвулканизации таких смесей снизилась. Результаты исследования влияния исследуемых добавок на время достижения оптимальной степени вулканизации представлены на рисунке 1.

Определение времени достижения оптимальной степени вулканизации резиновых смесей на основе комбинации каучуков СКИ-3 и СКД при температурах 143 °С и 153 °С показали, что эластомерные композиции, содержащие в качестве исследуемых добавок продукты переработки отработанного масла (ДВЧ и СР) характеризуются несколько меньшим значением времени достижения оптимальной степени вулканизации. Так, при температуре 153 °С, для резиновой смеси, содержащей в качестве пластифицирующего компонента масло И-20, данный показатель составляет 9,10 мин., а при введении ДВЧ и СР – 7,86 и 6,69 мин. соответственно. Вероятно, причинами ускорения процесса вулканизации резиновых смесей с пластифицирующими компонентами на основе вторичного сырья (ДВЧ и СР) являются их более низкое кислотное число и несколько увеличенная ненасыщенность.

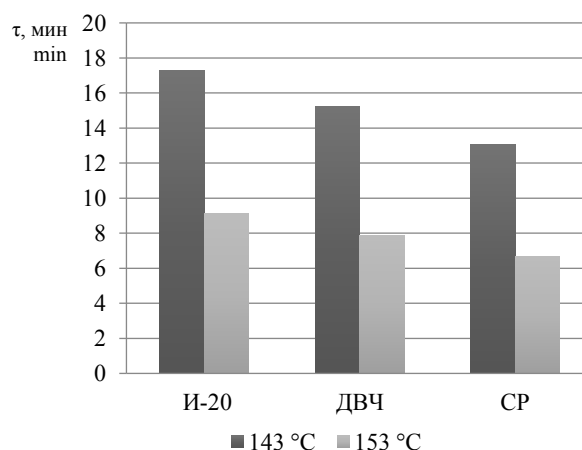


Рисунок 1. Время достижения оптимальной степени вулканизации резиновых смесей (τ) в зависимости от температуры процесса

Figure 1. Time to achieve an optimal degree of vulcanization of rubber mixtures (τ) depending on process temperature

Заключение

Таким образом, результаты исследования технологических свойств эластомерных композиций с пластифицирующими компонентами ДВЧ и СР показали, что их использование в составе эластомерных композиций приводит к уменьшению вязкости по Муни резиновых смесей, практически не оказывает влияния на релаксационные процессы в объеме эластомерной матрицы и к сокращению оптимума вулканизации по сравнению с композицией, содержащей широко применяемый в промышленности пластификатор – масло И-20.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Корнев А.Е. Технология эластомерных материалов. Учебник. М.: ИСТЕК, 2009. 502 с.
- 2 Резниченко С.В., Морозов Ю.Л. Большой справочник резинщика: в 2 частях. Ч. 1: Резины и резино-технические изделия. М.: Техинформ, 2012. 744 с.
- 3 Каменчук Я.А. Отработанные нефтяные масла и их регенерация: дис. ... канд. хим. наук : 02.00.13. Томск, 2007. 131 с.
- 4 Осошник И.А., Шутилин Ю.Ф., Карманова О.В. Производство резиновых технических изделий. Воронеж: ВГТА, 2007. 972 с.
- 5 Гришин Б.С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных): монография. Ч. 1. Казань: КГТУ, 2010. 506 с.
- 6 Остриков В.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Учеб. пособие под ред. Е.С. Мордасова. Тамбов: ТГТУ, 2008. 304 с.
- 7 Новаков И.А. и др. Реологические и вулканизационные свойства эластомерных композиций. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 332 с.

REFERENCES

- 1 Kornev A.E. Tekhnologiya elastomernykh materialov [Technology of elastomeric materials]. Moscow, ISTEK, 2009, 502 p. (in Russian)
- 2 Reznichenko S.V., Morozov Yu.L. Bol'shoy

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Жанна С. Шашок к. т. н., доцент, кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов, Белорусский государственный технический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, shashok@belstu.by

Анастасия В. Лешкевич аспирант, кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов, Белорусский государственный технический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, nastyonke@mail.ru

Наталья В. Круглик начальник технологического отдела, ЗАО «Амкодор-Эластомер», ул. Пономаренко, 7-4, г. Минск, Республика Беларусь, natakru13@mail.ru

Ольга В. Карманова д. э. н., зав. кафедрой, кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, karolga@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Жанна С. Шашок обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Анастасия В. Лешкевич написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Наталья В. Круглик предложила методику проведения эксперимента

Ольга В. Карманова консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 20.10.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 04.11.2016

spravochnik rezinshchika. Ch. 1: Reziny i rezinotekhnicheskie izdeliya [Large handbook of rubber technologist. Part 1: Rubber and rubber products]. Moscow, Tekhinform, 2012. 744 p. (in Russian)

3 Kamenchuk Ya. A. Otrabotannyye neftyanye masla i ih regeneratsiya [Waste petroleum oils and their recycling] Tomsk, 2007, 131 p. (in Russian)

4 Grishin B.C. Materialy rezinovoy promyshlennosti (informatsionno-analiticheskaya baza dannykh) [Materials of rubber industry (information-analytical database)] Kazan, Kazanskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2010, 506 p. (in Russian)

5 Ososhnik I.A., Shutilin Yu.F., Karmanova O.V. Proizvodstvo rezinotekhnicheskikh izdelii [Production of rubber technical products] Voronezh, VGUIT, 2007. 972 p. (in Russian)

6 Ostrikov V.V. Topливо, smazochnyie materialy i tehnicheckie zhidkosti : ucheb. posobie [Fuel, lubricants and industrial fluids : a educational book]. Tambov, TGTU, 2008, 304 p. (in Russian)

7 Novakov I.A. et al. Reologicheskie i vulkanizatsionnyie svoystva elastomernykh kompozitsiy [Rheological and vulcanization properties of elastomeric compositions] Moscow, Akademkniga, 2006, 332 p. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Zhanna S. Shashok candidate of technical sciences, assistant professor, technology of petrochemical synthesis and polymer materials processing department, Belarusian state technological university, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, shashok@belstu.by

Anastasiya V. Leshkevich graduate student, technology of petrochemical synthesis and polymer materials processing department, Belarusian state technological university, Sverdlova str., 13a Minsk, 220006, Republic of Belarus, nastyonke@mail.ru

Nataliya V. Kruglik chief of technology department, CJS "Amkodor-Elastomer", Ponomarenko str., 7-4, Minsk, 220015, Republic of Belarus, natakru13@mail.ru

Olga V. Karmanova doctor of chemical sciences, head of department, chemistry and chemical technology of organic compounds and polymers processing department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, karolga@mail.ru

CONTRIBUTION

Zhanna S. Shashok review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Anastasiya V. Leshkevich wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Nataliya V. Kruglik proposed a scheme of the experiment

Olga V. Karmanova consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.20.2016

ACCEPTED 11.4.2016