

Влияние модифицирования эластомерных композиций в среде полиэтиленоксидов на их стойкость к действию минеральных масел

Елена П. Усс	¹	uss@belstu.by
Жанна С. Шашок	¹	shashok@belstu.by
Андрей В. Касперович	¹	andkasp@belstu.by
Ольга В. Карманова	²	karolga@mail.ru

¹ Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, Минск, 220006, Республика Беларусь

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. Исследовано влияние модифицирования эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильных каучуков в среде низкомолекулярных полиэтиленоксидов (ПЭО) на стойкость композиций к жидким агрессивным средам. В качестве агрессивных жидкостей использовали стандартные углеводородные масла – масло ASTM №1 и ASTM №3, имеющие постоянный химический состав и свойства. Стойкость эластомерных композиций к действию стандартных масел оценивали по изменению массы, объема и относительной остаточной деформации сжатия (ООДС) после выдержки образцов в данных средах при повышенной температуре. Установлено влияние агрессивности среды на степень набухания и показатель ООДС композиций, модифицированных в среде ПЭО. Показано, что при старении в стандартном масле ASTM №1 значения массы/объема образцов модифицированных резин снижаются в меньшей степени по сравнению с немодифицированными образцами, что, вероятно, связано с влиянием низкомолекулярных ПЭО на процесс формирования структуры вулканизатов. В тоже время воздействие масла ASTM №3 на эластомерные композиции приводит к повышению степени набухания модифицированных резин в большей степени, чем немодифицированных, что может быть обусловлено разрушением под действием агрессивной среды дополнительных межмолекулярных связей между макромолекулами ПЭО и каучука, приводящим к увеличению гибкости сегментов эластомерной матрицы. Выявлено, что модифицирование в низкомолекулярных ПЭО способствует получению резин с низким уровнем накопления ООДС в условиях воздействия стандартных масел при повышенных температурах.

Ключевые слова: эластомерная композиция, бутадиен-нитрильный каучук, полиэтиленоксид, модифицирование, уплотнительное изделие, маслостойкость, относительная остаточная деформация сжатия

The influence of modification of elastomer compositions in polyethylene oxides on their resistance to mineral oils

Elena P. Uss	¹	uss@belstu.by
Zhanna S. Shashok	¹	shashok@belstu.by
Andrei V. Kasperovich	¹	andkasp@belstu.by
Olga V. Karmanova	²	karolga@mail.ru

¹ Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a, Minsk, 220006, Belarus

² Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. The influence of modifying of elastomer compositions based on nitrile rubber in the medium of low molecular weight polyethylene oxide on resistance of rubbers to liquid aggressive media was studied. Standard hydrocarbon oils – oil ASTM №1 and ASTM №3, having a constant chemical composition and properties, were used as aggressive fluids. Resistance of elastomer compositions to standard oil was evaluated by change in weight, volume and relative compression set after keeping the samples in these oils at elevated temperatures. The influence of aggressive environment on the degree of swelling and the value of compression set of compositions modified in polyethylene oxides medium was established. It has been shown that the mass/volume of modified rubbers during aging in oil ASTM №1 reduced to a lesser degree compared to unmodified samples, which is probably due to the influence of low molecular weight polyethylene oxides for the formation of vulcanizates structure. At the same time exposure to oil ASTM №3 of elastomer compositions increases the degree of swelling of modified rubber more than unmodified, which can be due to destruction by the action of aggressive medium additional intermolecular bonds between macromolecules of polyethylene oxide and rubber, resulting in increased flexibility of the elastomeric matrix segments. It revealed that modification of rubbers in low molecular weight polyethylene oxides facilitates preparation of rubber with low compression set after aging in standard oils at elevated temperatures.

Keywords: elastomer composition, butadiene-nitrile rubber, polyethylene oxide, modification, sealing product, oil resistance, relative compression set

Введение

Для автомобильной, тракторной, нефтяной и других отраслей промышленности требуются уплотнительные резинотехнические изделия (РТИ), работающие в условиях низких и высоких температур, в контакте с бензино-масляными средами и при высоких трибологических нагрузках. При этом доступ к уплотнительным изделиям ограничен, а срок их службы должен быть не менее чем срок эксплуатации базовых элементов

технических устройств. Это вызывает постоянное ужесточение требований к эксплуатационным и качественным показателям уплотнительных устройств и стимулирует работы по их совершенствованию. В настоящее время предъявляемый комплекс требований не может быть полностью обеспечен с помощью имеющихся полимеров и ингредиентов. В связи с этим одним из перспективных направлений получения уплотнительных РТИ с заданными свойствами

Для цитирования

Усс Е.П., Шашок Ж. С., Касперович А. В., Карманова, О. В. Влияние модифицирования эластомерных композиций в среде полиэтиленоксидов на их стойкость к действию минеральных масел // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 242–247. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-242-247

For citation

Uss E. P., Shashok Zh. S., Kasperovich A. V., Karmanova O. V. The influence of modification of elastomer compositions in polyethylene oxides on their resistance to mineral oils. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 242–247. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-242-247

является модифицирование материалов на основе известных эластомеров без существенного изменения технологии их производства. Среди известных способов, интенсивно используемых в промышленности для модифицирования изделий на основе эластомеров, является способ термодиффузионного модифицирования в жидких средах, позволяющий улучшать триботехнические характеристики эластомерных материалов, их стойкость к действию агрессивных сред и др.

Резиновые уплотнительные изделия довольно часто эксплуатируются в контакте с различными средами, представляющими собой нефтяные и синтетические продукты. В зависимости от механизма действия среды на резину различают физически активные и химически активные среды. Физически активные среды не вызывают разрушений поперечных связей в резине, оказывая влияние лишь на силы межмолекулярного взаимодействия. Химически активные среды вызывают необратимые изменения химической структуры полимера: появление трещин, расслоение, распад поперечных связей. В результате воздействия рабочих сред на резину может протекать несколько процессов: набухание резин (увеличение объема и массы при сохранении химической структуры каучука), вымывание (экстракция) низкомолекулярных ингредиентов из эластомерной матрицы, изменение физической структуры, химическая деструкция и др. Чаще всего при этом ухудшаются эксплуатационные свойства эластомерных материалов, что приводит к их преждевременному разрушению и нарушению герметичности уплотнительного узла из-за утечки агрессивных жидкостей [1–3]. В связи с этим возникает необходимость строго контроля степени изменения параметров взаимодействия эластомера с агрессивными средами, что и будет определять возможность использования резины в данных средах.

Материалы и методы исследования

Цель работы – исследовать влияние термодиффузионного модифицирования эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильных каучуков в среде низкомолекулярных полиэтиленоксидов на стойкость композиций к агрессивным средам.

Объектами исследования были выбраны наполненные эластомерные композиции на основе синтетических бутадиен-нитрильных каучуков с различным содержанием нитрила акриловой кислоты (БНКС-18, БНКС-28 и БНКС-40). Резины на основе данных каучуков нашли широкое применение в производстве уплотнительных резинотехнических изделий, работающих в условиях контакта с нефтепродуктами. Исследуемые композиции отличались помимо эластомерной основы, составом вулканизирующей системы, содержанием и типом наполнителей, пластификаторов.

Для сравнения использовали немодифицированные образцы композиций, вулканизированные в прессе.

Модифицирование эластомерных композиций проводили следующим образом: вначале композиции вулканизовали в пресс-форме до заданной степени вулканизации, определяемой из кривой кинетики вулканизации, а затем выдерживали в ненапряженном состоянии в среде модификатора при температуре 140 ± 2 °C в течение $60 \pm 0,5$ мин. В качестве модифицирующих сред использовали низкомолекулярные полиэтиленоксиды с молекулярными массами 400 (ПЭО 400) и 4000 (ПЭО 4000), обладающие поверхностно-активными свойствами. Полиэтиленоксид 400 представляет собой бесцветную вязкую жидкость с незначительным характерным запахом, полиэтиленоксид 4000 – воскообразный продукт. Модифицирование эластомерных композиций осуществляли в среде ПЭО 400 и в комбинации ПЭО 400 и ПЭО 4000 в соотношении 70:30% мас. соответственно. Ранее было установлено, что при этом способе модификации происходит адсорбция молекул низкомолекулярных полиэтиленоксидов на участках поверхности эластомерного материала с последующей диффузией в поверхностные слои за счет структурной неоднородности материала и далее в объем материала вследствие наличия градиента концентрации [4]. При этом величина молекулярной массы ПЭО оказывает влияние на кинетику его диффузии в объем материала и создаваемую градиентную структуру, отличающуюся степенью структурирования в поверхностном слое и на некоторой глубине.

Стойкость эластомерных композиций к действию жидких агрессивных сред оценивали по изменению их массы, объема образцов, изменению относительной остаточной деформации сжатия после выдержки образцов в стандартной жидкости при температуре 100 ± 2 °C в течение $1 \div 7$ суток согласно ГОСТ 9.030-74. В качестве испытательных жидкостей использовали стандартные углеводородные масла – масло № 1 (ASTM № 1) и масло № 3 (ASTM № 3), имеющие постоянный химический состав и свойства. Эти масла представляют собой нефтяные фракции без присадок и рекомендуются для контроля качества резин в производстве РТИ, поскольку обеспечивают воспроизводимые результаты испытаний эластомеров. Анилиновая точка масла является показателем содержания ароматических веществ и помогает характеризовать воздействие данного масла на резину. Масло № 1 дает малое увеличение объема эластомеров и состоит из тщательно контролируемой смеси минеральных масел, включающей экстрагированный рафинированный остаток, химически обработанный и депарафинированный остаток, и нейтральное масло; анилиновая точка составляет (124 ± 1) °C. Масло № 3 дает высокое увеличение объема эластомеров и состоит из тщательно контролируемой смеси

двух фракций смазочных масел, полученных путем вакуумной перегонки из сырой нефти с высоким содержанием нафтеновых углеводородов; анилиновая точка составляет $(71 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Результаты и обсуждение

Основным показателем, определяющим возможность использования резины в конкретной агрессивной среде, является степень ее набухания в этой среде, которая влияет на изменение геометрических размеров и свойств резинотехнических изделий. Максимально допустимая степень набухания, зависящая от типа изделий и условий их эксплуатации, должна находиться в определенных пределах. Поскольку чрезмерное набухание подвижных уплотнений увеличивает сдвиговые усилия, коэффициент трения и потери на трение, в случае неподвижных уплотнений увеличивает вдавливание в зазоры и заклинивание. Уменьшение по массе и объему способствует падению контактного напряжения и потере герметичности. Таким образом, надежность работы изделия в рабочей среде зависит от правильного подбора материала и его совместимости со средой [3, 5].

Для определения работоспособности РТИ в рабочей среде необходимо комплексное исследование изменения свойств резины в свободном и напряженном состоянии при температурах эксплуатации. Данные по изменению массы и объема образцов резин после выдержки их в стандартных маслах ASTM № 1 и ASTM № 3 при температуре $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$ представлены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 видно, что при выдержке образцов модифицированных и немодифицированных резин в стандартном масле ASTM № 1 в первые сутки происходит снижение значений массы / объема образцов, что, возможно, обусловлено вымыванием растворимых ингредиентов или продуктов деструкции из эластомерных композиций, а также пониженным содержанием ароматических углеводородов в составе данного масла [3]. В дальнейшем происходит увеличение значений массы/объема исследуемых образцов. Причем образцы резин, модифицированные как в среде ПЭО 400, так и в комбинации ПЭО 400 и 4000, характеризуются большей стойкостью к действию масла ASTM № 1 по сравнению с немодифицированными образцами. Так, изменение массы образцов немодифицированных вулканизатов при температуре $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$ составило $-4,5 \div -7,6\%$, для модифицированных образцов в среде полиэтиленоксида 400 – от $-2,8$ до $-4,5\%$, а в комбинации ПЭО 400 и ПЭО 4000 – от $-0,9$ до $-3,9\%$. В связи с этим можно предположить, что повышение стойкости модифицированных композиций к действию масла № 1, вероятно, связано с поверхностно-активными свойствами полиэтиленоксидов и их влиянием на процесс вулканизации эластомерных композиций, а также с образованием дополнительных межмолекулярных связей физического типа между полярными группами макромолекул ПЭО и БНК, не разрушающихся, по-видимому, при действии масла ASTM № 1.

Таблица 1.
Изменение массы и объема образцов резин после выдержки в стандартных маслах

Table 1.

The change of weight and volume of rubber samples after aging in standard oils

Эластомерная основа Elastomer base	Образец резины, модифицированный в среде Rubber sample modified in medium	Изменение массы,% Change of weight,%			Изменение объема,% Change of volume,%		
		после 1 суток after 1 day	после 3 суток after 3 days	после 7 суток after 7 days	после 1 суток after 1 day	после 3 суток after 3 days	после 7 суток after 7 days
1	2	3	4	5	6	7	8
Масло ASTM № 1 Oil ASTM № 1							
БНКС-18 BNRS-18	немодифицированный unmodified	-7,6	-7,4	-6,6	-8,0	-7,5	-6,8
	ПЭО 400 PEO 400	-4,1	-4,5	-3,0	-3,1	-3,3	-1,6
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	-2,7	-2,5	-0,9	-2,3	-1,4	-0,5
БНКС-28 BNRS-28	немодифицированный unmodified	-5,8	-5,8	-4,5	-6,5	-5,7	-5,0
	ПЭО 400 PEO 400	-3,8	-3,9	-3,1	-4,2	-4,5	-4,0
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	-3,0	-3,0	-2,2	-3,8	-3,0	-2,7
БНКС-40 BNRS-40	немодифицированный unmodified	-6,3	-8,3	-5,9	-5,6	-8,8	-5,6
	ПЭО 400 PEO 400	-3,2	-4,1	-2,8	-4,0	-4,6	-4,5
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	-3,9	-3,9	-3,3	-4,5	-4,5	-3,8

1	2	3	4	5	6	7	8
Масло ASTM № 3 Oil ASTM № 3							
БНКС-18 BNRS-18	немодифицированный unmodified	12,8	13,1	14,9	19,9	20,0	21,5
	ПЭО 400 PEO 400	13,2	15,1	16,7	20,5	23,2	24,5
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	18,1	18,2	20,5	26,2	26,4	28,7
БНКС-28 BNRS-28	немодифицированный unmodified	12,2	12,7	14,4	18,8	19,1	20,8
	ПЭО 400 PEO 400	12,5	13,2	15,0	19,4	20,0	21,7
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	12,4	12,8	14,5	19,4	19,7	21,5
БНКС-40 BNRS-40	немодифицированный unmodified	12,0	13,7	13,7	18,5	19,6	21,7
	ПЭО 400 PEO 400	12,3	13,7	15,4	18,1	20,8	23,0
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	12,6	14,0	14,7	20,2	21,6	21,6

При старении резин в масле ASTM № 3, которое является более агрессивной средой вследствие повышенного содержания в его составе ароматических углеводородов, наблюдается значительное увеличение значений массы/объема как для модифицированных образцов, так и для немодифицированных. Причем для модифицированных образцов наблюдается большая степень набухания по сравнению с немодифицированными, что может быть обусловлено разрушением межмолекулярных связей, приводящим к увеличению гибкости сегментов эластомерной матрицы. Наибольшее увеличение массы / объема (20,5/28,7%) образцов наблюдается для композиций на основе БНКС-18, модифицированных в комбинированной среде, по сравнению с немодифицированными образцами (14,9/21,5%).

Резины в деформированном состоянии в агрессивных средах ведут себя иначе, чем ненапряженные резины. Одной из основных характеристик свойств уплотнительных изделий является показатель относительной остаточной деформации сжатия, характеризующий способность изделий восстанавливать свои размеры после заданной деформации. Появление остаточной деформации свидетельствует о снижении высокоэластичности, определяющей работоспособность резиновых уплотнителей. При воздействии на резину физически агрессивной среды накопление остаточной деформации может быть замедлено за счет увеличения размеров образца при набухании или ускорено за счет вымывания из резины растворимых в среде ингредиентов. Причем при действии повышенных температур на напряженные резины резко ускоряются процессы накопления остаточной деформации, что также приводит к снижению работоспособности уплотнителей. Таким образом, показатель ООДС характеризует необратимую химическую релаксацию вследствие старения резины, ускоренного взаимодействием со средой и разрушением связей под действием

напряжений [1, 5]. Накопление остаточной деформации сжатых образцов оценивали после старения в стандартных маслах при температуре $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$ и деформации сжатия 30% в соответствии с ГОСТ 9.070-76. В таблице 2 представлены результаты испытаний на стойкость резин к воздействию стандартных масел ASTM № 1 и ASTM № 3 при статической деформации сжатия.

Результаты исследования показали, что модифицированные образцы резин на основе БНК после старения в стандартных маслах ASTM № 1 и ASTM № 3 характеризуются более низкими значениями показателя относительной остаточной деформации сжатия по сравнению с немодифицированными образцами. Так, при старении в масле № 1 изменение показателя ООДС для модифицированных образцов составляет от 10,5 до 60,8%, а для немодифицированных – от 18,0 до 67,1%. При старении образцов резин в масле № 3 значение показателя ООДС изменяется в пределах 6,0–44,2% для модифицированных образцов и в пределах 12,1–45,9% для немодифицированных. Причем в наибольшей степени показатель ООДС снижается при модифицировании эластомерных композиций в комбинированной среде. Следует отметить, что для резины на основе БНКС-18, модифицированной в ПЭО 400 + ПЭО 4000, после старения в масле ASTM № 1 в течение 1 и 3 суток наблюдается снижение показателя ООДС от 13,2 до 10,7%. Это может быть обусловлено некоторым снижением степени вымывания из образца низкомолекулярных соединений при старении в масле ASTM № 1 через 3 суток. Дальнейшее старение резин приводит к снижению степени вымывания, однако показатель ООДС не уменьшается, что, вероятно, связано с распадом и перегруппировкой полисульфидных связей. В случае резин на основе БНКС-28 и БНКС-40 наблюдается рост значений показателя ООДС с увеличением времени старения в масле ASTM № 1.

При воздействии масла ASTM№ 3 на исследуемые резины происходит большее снижение уровня накопления остаточных деформаций, что, вероятно, объясняется более высокой степенью набухания образцов в данной среде по сравнению с воздействием масла ASTM№ 1, приводящей к увеличению линейных размеров образцов. Так, для резин на основе БНКС-18, модифицированных в комбинации ПЭО, наблюдается

значительное снижение показателя ООДС (до 6,0%) при взаимодействии с более агрессивной средой ASTM№ 3 в первые сутки, что, по-видимому, обусловлено как высокой степенью набухания (на 18,1%) образцов в данной среде, так и взаимодействием между макромолекулами каучука и ПЭО. При увеличении длительности старения в масле ASTM№ 3 значения показателя ООДС увеличиваются, как и при старении в масле ASTM№ 1.

Таблица 2.

Изменение показателя ООДС вулканизатов после старения в стандартных маслах

Table 2.

The change of compression set of vulcanizates after aging in standard oils

Эластомерная основа Elastomer base	Образец резины, модифицированный в среде Rubber sample modified in medium	Продолжительность старения (сутки) в стандартных маслах: Duration of aging (days) in standard oils					
		Масло ASTM№ 1 Oil ASTM№ 1			Масло ASTM№ 3 Oil ASTM№ 3		
		1	3	7	1	3	7
БНКС-18 BNRS-18	немодифицированный unmodified	26,1	30,3	36,4	14,5	18,3	26,5
	ПЭО 400 PEO 400	14,8	24,5	29,7	8,3	15,1	23,4
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	13,2	10,7	18,8	6,0	10,4	16,7
БНКС-28 BNRS-28	немодифицированный unmodified	18,0	23,9	30,2	12,1	14,9	20,8
	ПЭО 400 PEO 400	14,6	18,3	26,3	9,8	11,7	17,0
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	10,5	12,9	20,5	7,3	10,5	16,1
БНКС-40 BNRS-40	немодифицированный unmodified	49,5	59,4	67,1	36,4	42,8	45,9
	ПЭО 400 PEO 400	41,3	51,1	60,8	31,2	40,4	44,2
	ПЭО 400 и ПЭО 4000 PEO 400 and PEO 400	33,8	39,0	49,4	26,0	33,1	36,5

Потеря уплотнителями работоспособности происходит вследствие уменьшения напряжения в сжатых резинах, обусловленного большой степенью набухания резин, что приводит к активации химической релаксации напряжения в резинах. В то же время при небольшом набухании резины в физически агрессивной среде за счет развивающегося давления набухания увеличивается конечное напряжение в резине, что положительно повлияет на герметизирующую способность уплотнения.

Заключение

На основании проведенных исследований выявлено, что диффузионные процессы между эластомерным материалом и средой положительно влияют на изменение показателя ООДС, что, по-видимому, позволит увеличить герметизирующую способность резин. Наблюдаемый эффект снижения ООДС модифицированных композиций при старении в агрессивных углеводородных жидкостях может быть связан как с более равномерным нагружением образца при старении в напряженном состоянии, снижающим проявление механохимической активации деструкции макромолекул, так и с проявлением

структурирующего действия полиэтиленоксидов в процессе модифицирования резин, обусловленного образованием межмолекулярных связей между эфирными группами ПЭО и нитрильными группами каучука.

Изучение воздействия стандартных углеводородных масел при повышенных температурах на эластомерные композиции на основе БНК, модифицированные в среде низкомолекулярных полиэтиленоксидов, показало, что при старении в масле ASTM№ 1 модифицированные образцы обладают большей стойкостью к воздействию данного масла по сравнению с немодифицированными. Это может быть связано с влиянием модифицирующей среды на образование, распад и перегруппировку связей вулканизационной сетки эластомерных композиций на основе БНК как при их модифицировании, так и в процессе их старения. Определено, что воздействие масла ASTM№ 3 приводит к повышению степени набухания модифицированных резин по сравнению с немодифицированными композициями, что, вероятно, связано с ослаблением межмолекулярных взаимодействий между макромолекулами каучука и ПЭО за счет повышенного содержания ароматических соединений в данной среде.

Установлено, что модифицированные резины после старения в стандартных маслах в напряженном состоянии обладают большей стойкостью к накоплению относительной остаточной деформации сжатия по сравнению с немодифицированными образцами. Причем с увеличением агрессивности среды замедляется накопление остаточной деформации образцов немодифицированных и модифицированных резин, что, по-видимому объясняется повышением степени набухания в масле ASTM № 3 по сравнению с маслом

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Чемисенко О.В., Фром И.Ф., Брейтер Ю.Л. Сравнительное исследование физико-механических показателей резиновой смеси для герметизирующих уплотнителей // Промышленное производство и использование эластомеров. 2016. № 2. С. 30–32.
- 2 Технология резины: Рецептуростроение и испытания / Под ред. Дика Дж.С.; Пер. с англ. под ред. Шершнева В.А. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
- 3 Chandrasekaran V.C. Rubber seals for fluid and hydraulic systems. Oxford.: Elsevier Inc., 2010. 160 p.
- 4 Uss E.P., Kasperovich A.V., Shashok Z.S., Piatov I.S. et al. Modifying moulded rubber articles based on butadiene-acrylonitrile rubber in a liquid medium // International Polymer Science and Technology. 2011. V. 38. № 4. P. 19–22.
- 5 Pazur R.J., Cormier J.G., Korhan-Taymaz K. Service life determination of nitrile O-rings in hydraulic fluid // Rubber Chemistry and Technology. 2014. V. 87. № 2. P. 239–249.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елена П. Усс к.т.н., ассистент, кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова 13а, г. Минск, 220006, Беларусь, uss@belstu.by
Жанна С. Шашок к.т.н., доцент, кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова 13а, г. Минск, 220006, Беларусь, shashok@belstu.by
Андрей В. Касперович к.т.н., заведующий кафедрой, кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова 13а, г. Минск, 220006, Беларусь, andkasp@belstu.by
Ольга В. Карманова д. х. н., заведующая 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

Елена П. Усс написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Жанна С. Шашок консультация в ходе исследования
Андрей В. Касперович предложил методику проведения эксперимента
Ольга В. Карманова консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 02.02.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 24.02.2017

ASTM № 1. Выявлено, что композиции, модифицированные в комбинированной среде, характеризуются наименьшими значениями показателя ООДС в сравнении с образцами, модифицированными в среде ПЭО 400.

Модифицирование в низкомолекулярных полиэтиленоксидах способствует получению резин с низким уровнем накопления ООДС в условиях воздействия стандартных масел при повышенных температурах, что позволит увеличить работоспособность уплотнительных изделий.

REFERENCES

- 1 Chemisenko O.V., From I.F., Breyter Yu. L. Comparative study of physical and mechanical properties of rubber composition for sealing gaskets. *Promyshlennoye proizvodstvo i ispol'zovaniye elastomerov* [Industrial production and use of elastomers]. 2016. no 2. pp. 30–32. (in Russian)
- 2 Tekhnologiya reziny: Retsepturostroyeniye i ispytaniya [Rubber technology: compounding and testing for performance. Ed. Dick J.C.; Trans. from english. ed. Shershnev V.A.] Saint-Petersburg, Nauchnyye osnovy i tekhnologii, 2010, 620 p. (in Russian)
- 3 Chandrasekaran V.C. Rubber seals for fluid and hydraulic systems. Oxford, Elsevier Inc., 2010. 160 p.
- 4 Uss E.P., Kasperovich A.V., Shashok Z.S., Piatov I.S. et al. Modifying moulded rubber articles based on butadiene-acrylonitrile rubber in a liquid medium. *International Polymer Science and Technology*. 2011. vol. 38, no. 4. pp. 19–22.
- 5 Pazur R.J., Cormier J.G., Korhan-Taymaz K. Service life determination of nitrile O-rings in hydraulic fluid. *Rubber Chemistry and Technology*. 2014. vol. 87, no. 2, pp. 239–249.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Elena P. Uss candidate of technical sciences, assistant, technology of petrochemical synthesis and polymer materials processing department, Belarusian state technological university, 13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus, uss@belstu.by
Zhanna S. Shashok candidate of technical sciences, associate professor, technology of petrochemical synthesis and polymer materials processing department, Belarusian state technological university, 13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus, shashok@belstu.by
Andrei V. Kasperovich candidate of technical sciences, head of department, technology of petrochemical synthesis and polymer materials processing department, Belarusian state technological university, 13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus, andkasp@belstu.by
Olga V. Karmanova doctor of economical 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

Elena P. Uss wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Zhanna S. Shashok consultation during the study
Andrei V. Kasperovich proposed a scheme of the experiment
Olga V. Karmanova consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 2.2.2017

ACCEPTED 2.24.2017