*И. А. Новаков¹, Данг Минь Тхуи², М. А. Ваниев¹, Д. А. Нилидин¹,
С. Г. Губин², Н. В. Сидоренко¹, Н. В. Сычев¹*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ НА ОСНОВЕ
БУТАДИЕННИТРИЛЬНОГО, ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКОВ
И ХЛОРСУЛЬФИРОВАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА**

¹ Волгоградский государственный технический университет

² Российско-Вьетнамский Тропический центр

E-mail: vaniev@vstu.ru

Впервые исследованы свойства эластомеров на основе комбинации бутадиеннитрильного (БНК), этиленпропиленового (СКЭПТ) каучуков и хлорсульфированного полиэтилена (ХСПЭ), вулканизация которых осуществлена бессерными эффективными системами. Лучшим балансом по морозо-, тепло-, и топливостойкости обладают резины, в рецептурах которых суммарно превалирует доля полярных ХСПЭ и БНК при меньшем содержании (10–20 масс. ч.) СКЭПТ. Результаты шестимесячных натурных испытаний в условиях тропического климата свидетельствуют о высокой стойкости таких эластомеров к действию микроорганизмов. Полученные в совокупности данные детерминируют перспективы применения созданных резин для эксплуатации в различных климатических зонах.

Ключевые слова: бутадиеннитрильный каучук, этиленпропиленовый каучук, хлорсульфированный полиэтилен, термоокислительное старение, температура стеклования, стойкость к воздействию керосина, тропический климат.

Разработка эластомерных материалов, обладающих высокой стойкостью к воздействию нефтепродуктов и при этом пригодных для эксплуатации в различных климатических регионах, является актуальной задачей. В условиях тропического климата эластомеры подвергаются интенсивному воздействию солнечной радиации, озона, повышенной влажности, вы-

соких температур и микроорганизмов [1, 2]. В северных регионах от данных материалов требуется максимальное сохранение свойств, главным образом – эластичности при пониженных температурах. В сочетании со стойкостью резин к нефтепродуктам это предопределяет длительную работоспособность различных машин и механизмов [3].

Таким образом, важной является разработка топливостойких эластомерных материалов, пригодных для эксплуатации в широком интервале температур (арктические и тропические условия), обладающих при этом стойкостью к воздействию микроорганизмов.

Цель настоящей работы состоит в исследовании влияния соотношения бутадиеннитрильного, этиленпропиленового каучуков и хлорсульфированного полиэтилена на низкотемпературные свойства резин, их стойкость к термоокислительному старению и действию авиационного керосина, а также в оценке стойкости эластомеров к воздействию микроорганизмов при натурных испытаниях в условиях тропического климата.

Экспериментальная часть

Объектами исследований являлись резины на основе комбинации бутадиеннитрильного каучука (БНК) марки БНКС-18АМН, тройного сополимера этилена с пропиленом и дициклопентадиеном (каучук СКЭПТ-50 ДЦПД) и хлор-

сульфированного полиэтилена (ХСПЭ 430ТС).

Выбор каучуков обусловлен тем, что использование БНК с 18 % содержанием звеньев нитрила акриловой кислоты в макромолекулах при удовлетворительной маслостойкости обеспечивает эластомерам сравнительно лучшие низкотемпературные свойства среди всего ассортимента БНК. Однако материалы на их основе обладают низкой стойкостью к термоокислительному, световому и озоновому старению по причине высокой ненасыщенности макромолекул [4]. Учитывая это, для улучшения озоно- и теплостойкости резин вводили СКЭПТ [5, 6]. За счет введения ХСПЭ (с учетом наличия большого количества атомов хлора и насыщенности макромолекул) прогнозировалось повышение стойкости резин к озоновому растрескиванию, воздействию микроорганизмов и авиационного топлива [7].

Использованные соотношения каучуков и ХСПЭ в рецептурах резиновых смесей и соответствующие им шифры представлены в табл. 1.

Таблица 1

Использованные соотношения каучуков и шифры изготовленных резин

Каучук	Шифр резины												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	СКЭПТ	БНКС	ХСПЭ
БНКС	33,3	50	25	25	45	10	45	50	–	50	–	100	–
СКЭПТ	33,3	25	50	25	45	45	10	50	50	–	100	–	–
ХСПЭ	33,3	25	25	50	10	45	45	–	50	50	–	–	100

В качестве наполнителя использовали технический углерод марки П-324 в количестве 40 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука. Вулканизирующая группа в виде эффективной вулканизирующей системы (ЭВС) включала донор серы 4,4'-дитиодиморфолин (сульфазан DTDM) и ускорители серной вулканизации тетраметилтиурам-сульфид (тиурам Д) и N-циклогексилбензотиазосульфенамид-2 (сульфенамид Ц). Для активации процесса вулканизации все резины содержали 5 масс. ч. оксида цинка и 1,5 масс. ч. стеариновой кислоты.

Для изготовления смесей использовали лабораторные вальцы ЛБ 320/150/150.

Вулканизационные характеристики изучали с помощью безроторного реометра MonTech MDR 3000 Professional.

Физико-механические свойства образцов определяли в соответствии с ГОСТ 270-75 на испытательной машине Zwick 5,0 kN. Измерение твердости проводили по ГОСТ 263-75.

Оценку стойкости резин к термическому старению в воздушной среде проводили по ГОСТ 9.024-74; к действию авиационного керосина марки ТС-1 по ГОСТ 9.030-74. Температуру стеклования эластомеров и в целом особенности релаксационных переходов в области низких температур исследовали с помощью дифференциального сканирующего калориметра Netzsch DSC 204 F1 по ГОСТ Р 55135-2012 (ИСО 11357-2:1999).

Обсуждение результатов

В результате ранее проведенных исследований [8] выявлена эффективность применения для резин на основе БНК вулканизирующей группы, которая была использована и в данной работе. Установлено, что применение бессерных ЭВС обеспечивает резинам из БНК, в частности, повышенную теплостойкость. Это достигается благодаря преимущественному образованию сшивок моно- и дисульфидного типа, которые обладают большей энергией связи по

сравнению с полисульфидными «мостиками», образующимися под действием стандартных систем на основе серы и ускорителей.

В настоящей работе часть БНК (каучук с высокой степенью ненасыщенности) заменяли на каучук с малым содержанием кратных двойных связей (СКЭПТ-50 ДЦПД), а также варьировали содержание полностью насыщенного полимера (ХСПЭ), что привело к уменьшению общей ненасыщенности высокомолеку-

лярной компоненты резины. В свою очередь, это может детерминировать снижение скорости и глубины вулканизации под действием ЭВС. В этой связи данный аспект требовал отдельной экспериментальной верификации.

На рис. 1 приведены сравнительные реометрические кривые, характеризующие особенности вулканизации резин на основе индивидуальных каучуков с ЭВС, включающей сульфазан DTDM, тиурам Д и сульфенамид Ц.

Рис. 1. Реометрические кривые вулканизации ($T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) резин на основе:
1 – БНКС-18АМН; 2 – ХСПЭ-430ТС; 3 – СКЭПТ-50 ДЦПД

Действительно, как видно из рис. 1, вулканизация резины на основе СКЭПТ протекает значительно медленнее. Время до подвулканизации составляет приблизительно 11 минут, в то время как для образцов на основе БНКС и ХСПЭ эта величина около 3 и 1,5 минуты, соответственно. Одновременно отметим, что вулканизация БНКС и ХСПЭ с самого начала протекает достаточно активно (кривые 1 и 2 на рис. 1), о чем свидетельствуют углы наклона кривых в главном периоде. Наибольшее значение крутящего момента (более высокая плотность сшивания) ожидаемо получено для резины на основе БНКС. При выходе на плато по истечении 23,5 минут крутящий момент составляет 21,2 Нм.

Показатель T_{90} (время, необходимое для достижения 90 % степени вулканизации) достигается для резин на основе БНКС и ХСПЭ через 15,1 и 16,2 минут соответственно. При

этой температуре и количественно-качественном содержании компонентов вулканизирующей группы для резин из СКЭПТ оптимальное время вулканизации составляет 31,5 минуты. Принимая во внимание данное обстоятельство, а также отсутствие для всех изученных объектов начала реверсии (ухудшение) свойств, базовым был выбран режим вулканизации $150\text{ }^{\circ}\text{C} \times 33\text{ мин}$.

С учетом полученной информации изучены также особенности вулканизации резин в зависимости от соотношения каучуков и ХСПЭ. Массив полученных реометрических данных представлен на рис. 2.

Из анализа данных рис. 2 видно, что при прочих равных условиях процесс вулканизации резин во многом определяется типом преобладающего в рецептуре каучука. Чем больше содержание БНКС и ХСПЭ, тем выше скорость

(характеризуемая по углу наклона кривой в главном периоде) и степень сшивания (разница между максимальным и минимальным крутящим моментом). Обратная картина имеет место при увеличении в рецептуре дозировки СКЭПТ

и уменьшении БНКС (см. кривые 3, 5, 6, 8 и 9).

В табл. 2 представлены результаты оценки физико-механических свойств резин на основе индивидуальных каучуков до и после термоокислительного старения.

Рис. 2. Реометрические кривые вулканизации ($T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) резин на основе комбинации каучуков БНКС-18, СКЭПТ-50 и ХСПЭ-430, взятых в различных соотношениях (см. табл. 1)

Таблица 2

Физико-механические свойства резин на основе индивидуальных каучуков до старения и изменение показателей после термоокислительного старения

Показатель	Каучук, использованный в основе резины		
	СКЭПТ	БНКС	ХСПЭ
Условная прочность при растяжении, МПа	12,3	14,5	23,1
Относительное удлинение при разрыве, %	627	208	339
Твердость, ед. Шор А	58	71	67
Остаточное удлинение, %	20	5	10
Изменение свойств после термоокислительного старения при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 72 часа			
Изменение прочности при растяжении, %	+48	-22	+19,9
Изменение относительного удлинения при разрыве, %	-14,8	-29,9	-6,7
Изменение твердости по Шор А, %	+6,8	+2,8	+2,9
Изменение остаточного удлинения, %	-20	-50	-25
Изменение свойств после термоокислительного старения при $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 72 часа			
Условная прочность при растяжении, МПа	+16,2	-43,4	+13,8
Относительное удлинение при разрыве, %	+50,2	-34,2	-6,1
Твердость, ед. Шор А	+12,0	+5,6	+2,9
Изменение остаточного удлинения, %	-37,5	-50	-25

Как следует из данных табл. 2, наилучшее сохранение физико-механических свойств после трех суток экспозиции при температурах 100 и 125 °С демонстрирует резина на основе ХСПЭ.

Полученные результаты важны с точки зрения понимания базового уровня показателей. Вместе с тем, поскольку задачей данной работы является исследование влияния соотношения

бутадиеннитрильного и этиленпропиленового каучуков, а также хлорсульфированного полиэтилена на комплекс свойств резин, то в дальнейшем основной акцент был сделан на изучении именно таких объектов. Как это влияние проявляется, в частности, на изменении упруго-прочностных свойствах и твердости резин до и после термического воздействия можно проследить из данных табл. 3.

Таблица 3

**Физико-механические свойства резин на основе комбинации каучуков
до старения и изменение показателей после термоокислительного старения**

Показатель	Шифр рецептуры				
	1	2	3	4	5
Условная прочность при растяжении, МПа	14,6	14,5	7,95	15,2	8,79
Относительное удлинение при разрыве, %	186	216	159	179	198
Твердость, ед. Шор А	68	68	65	72	63
Показатель	Шифр рецептуры				
	6	7	8	9	10
Условная прочность при растяжении, МПа	9,9	17,4	7,9	9,8	32,4
Относительное удлинение при разрыве, %	153	176	206	189	255
Твердость, ед. Шор А	70	71	61	69	76
Изменение свойств после термоокислительного старения при 100 °С 72 часа					
Показатель	Шифр рецептуры				
	1	2	3	4	5
Изменение прочности при растяжении, %	-8,9	+9,6	-3,2	+13,8	-30,4
Изменение относительного удлинения при разрыве, %	-31	-23	-21,5	-25,2	-35,5
Изменение твердости по Шор А, %	+10,2	+5,8	+4,6	+4,1	+4,7
Показатель	Шифр рецептуры				
	6	7	8	9	10
Изменение прочности при растяжении, %	+4,2	+25,6	-8,8	+33,6	-12,5
Изменение относительного удлинения при разрыве, %	-26,2	-18,1	-11,6	-73	-35
Изменение твердости по Шор А, %	+14,2	+5,6	+6,5	+28,9	+6,5
Изменение свойств после термоокислительного старения при 125 °С 72 часа					
Показатель	Шифр рецептуры				
	1	2	3	4	5
Изменение прочности при растяжении, %	+32,8	-34,4	+24,6	-3,2	-18,9
Изменение относительного удлинения при разрыве, %	-93	-90,2	-91	-84,8	-43,6
Изменение твердости по Шор А, %	+28,5	+29,4	+38	+19,4	+34,9
Показатель	Шифр рецептуры				
	6	7	8	9	10
Изменение прочности при растяжении, %	+2	+23,5	-20,8	+30,4	-22,8
Изменение относительного удлинения при разрыве, %	-82,2	-91,4	-63	-76,3	-84
Изменение твердости по Шор А, %	+24,2	+32,3	+24,5	+34,8	+25

При анализе данных табл. 3 обращает на себя внимание уровень физико-механических свойств вулканизированной резины под шифром 10 (на основе комбинации БНК и ХСПЭ, взятых в соотношении 50:50 масс. ч.), исходная прочность которой более 32 МПа при показателе относительного удлинения более 250 %. Это значительно превышает прочность протестированных образцов, полученных на основе данных каучуков, взятых по отдельности. В целом, приемлемый уровень физико-механических характеристик демонстрируют материалы, изготовленные по рецептурам № 1, 2, 4 и 7. По сути это резины, в которых суммарно преобладают

полярные каучуки БНК и ХСПЭ с лучшей термодинамической совместимостью.

Большинство образцов на основе использованной комбинации каучуков и ХСПЭ (за исключением рецептуры № 9) обладают неплохой стойкостью к термоокислительному старению при температуре 100 °С. При увеличении температуры до 125 °С и после выдержки в течение 72 часов имеет место более значительное ухудшение упруго-прочностных свойств и изменение твердости резин.

В табл. 4 приведены сравнительные результаты оценки набухания эластомеров в авиационном керосине марки ТС-1.

Таблица 4

Результаты оценки набухания резин* в авиационном керосине ТС-1

Показатель	Шифр рецептуры				
	1	2	3	4	5
Изменение массы образцов при экспозиции (72 часа при $T = 25$) в керосине ТС-1, %	58,9	41,1	55	50,4	53,6
Показатель	Шифр рецептуры				
	6	7	8	9	10
Изменение массы образцов при экспозиции (72 часа при $T = 25$) в керосине ТС-1, %	74,8	17,9	75	115,9	6,7

П р и м е ч а н и е : *в аналогичных условиях тестирования изменение массы для резин, изготовленных на основе индивидуальных каучуков СКЭПТ, БНК и ХСПЭ, составило 348; 33 и 20 %, соответственно

Из численных значений табл. 4 видно, что степень набухания в топливе зависит от массовой доли в резине полярных бутадиеннитрильного каучука и хлорсульфированного полиэтилена, что соответствует прогнозным ожиданиям. Одновременно отметим, что материал на основе комбинации этих каучуков, взятых при соотношении 50:50 (рецептура под шифром 10) в условиях проведенного тестирования обладает наименьшим набуханием в ТС-1. Степень набухания составила лишь 6,7 %, что значительно ниже, чем для резин, изготовленных на основе БНКС и ХСПЭ, взятых по отдельности (см. примечание к табл. 4). Сравнительно хорошей стойкостью к действию авиационного керосина отличаются и резины под шифрами 7 и 2, где доля СКЭПТ относительно невысока. В целом, фиксируемое изменение массы коррелирует с показателями по плотности сшивания резин. Если сравнить данные реометрических исследований, то наибольшая разница между максимальным и минимальным крутящими мо-

ментами присуща именно образцам под шифрами 10, 7 и 2 (см. рис. 2). Для этих же образцов характерно и наименьшее изменение массы при контакте с авиационным керосином.

В соответствии с целью работы были исследованы низкотемпературные свойства резин путем определения температуры стеклования эластомеров, а также посредством выявления особенностей релаксационных переходов в области низких температур в целом, методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). В табл. 5 представлены результаты обработки кривых ДСК (значения температуры стеклования (T_g), а также экстраполированной температуры начала стеклования (T_{efg}), экстраполированной температуры конца стеклования (T_{efg}) и температуры в средней области перехода (T_{mg}) для резин на основе индивидуальных каучуков). Отметим, что значения T_{efg} , T_{efg} и T_{mg} характеризуют в целом весь релаксационный переход, связанный с процессом стеклования (расстекловывания).

Таблица 5

Данные ДСК резин на основе индивидуальных каучуков

Тип каучука:	Температура стеклования и характеристические температуры стеклования вулканизатов, °C			
	T_g	T_{eg}	T_{efg}	T_{mg}
СКЭПТ-50 ДЦПД	-50,1	-53,8	-48,3	-50,9
БНК-18 АМН	-33,4	-54,9	-30,7	-39,9
ХСПЭ-430 TS	-19,6	-24,9	-15,0	-19,7

Данные табл. 5 свидетельствуют о том, что по мере увеличения значения температуры стеклования и в зависимости от типа каучука в основе резины образцы можно расположить в следующий ряд: СКЭПТ-БНК-ХСПЭ. Другими словами, в этом ряду морозостойкость эластомеров ухудшается. Это объясняется тем, что в отличие от неполярного СКЭПТ, макромолекулы БНК и ХСПЭ имеют в своем строении полярные нитрильные группы и атомы хлора, соответственно. Данное обстоятельство, как правило, ограничивает применение непластифицированных резин на основе БНК и ХСПЭ в условиях низких температур. Сополимеры этилена с пропиленом и третьим сомономером

в этом плане имеют преимущество по причине лучшего сохранения макромолекулярной подвижности при криовоздействии.

По аналогичной методологии были исследованы и образцы, при изготовлении которых были использованы комбинации каучуков. С учетом высокой чувствительности метода ДСК, а также полученных и представленных в табл. 5 данных, предполагалась возможность выявления 2–3 температур стеклования. По результатам экспериментов это подтвердилось. Для наглядности один из примеров резины, имеющей три значения T_g , представлен в виде кривой ДСК на рис. 3.

Рис. 3. Данные ДСК резины под шифром 7

На кривой ДСК резины под шифром 7 можно видеть три перехода. Первый в области от -10,1 °C (начало) до -5,4 °C (конец релаксационного перехода). Второй соответственно в зоне от -21,2 до -13,6 °C. Третья область находится в более узком интервале от -54,4 до -49,0 °C и выражена менее отчетливо. Очевидно, что

в целом такая картина обусловлена наличием в испытуемом материале трех высокомолекулярных компонентов с различными показателями T_g . Поскольку содержание СКЭПТ в резине под шифром 7 невелико (10 масс. ч.), то, очевидно, этим и объясняется менее выраженный (изменение теплоемкости 0,015 Дж/г по срав-

нению с 0,033 Дж/г и 0,055 Дж/г для первого и второго переходов) переход в области температур, соответствующих стеклованию вулканизата на основе этого неполярного каучука.

В табл. 6 приведены результаты обработки кривых ДСК для резин, полученных с использованием комбинации бутадиеннитрильного и этиленпропиленового каучуков в сочетании с хлорсульфированным полиэтиленом.

Из анализа данных табл. 6 следует, что для образцов 1, 3, 4 и 7 фиксируется наличие трех переходов. В ряде случаев (для резин 2, 5, 6, 8, 9 и 10) в явном виде регистрируются только две

температуры стеклования. При этом прямой взаимосвязи между соотношением каучуков и изменением температуры стеклования в рамках проведенного эксперимента нам выявить не удалось, но полученные результаты в целом свидетельствуют об ограниченной (в большей или меньшей степени) совместимости фаз каучуков и ХСПЭ в матрице эластомера.

Результаты дополнительной оценки низкотемпературных свойств резин в условиях постепенного замораживания и ударного воздействия представлены в табл. 7.

Таблица 6

Данные ДСК резин на основе комбинации каучуков

Шифр резины	№ перехода стеклования	Температуры стеклования и характеристические температуры релаксационного перехода области стеклования образцов, °С			
		T_g	T_{elg}	T_{efg}	T_{mg}
1	1	-4,6	-8,2	-2,4	-4,3
	2	-16,6	-19,3	-13,6	-17,3
	3	-50,6	-53,8	-48,1	-50,7
2	1	-8,5	-14,1	-6,0	-9,9
	2	-51,6	-54,6	-49,2	-51,6
3	1	-3,3	-5,7	-0,1	-2,1
	2	-16,1	-19,4	-14,9	-18,2
	3	-50,7	-53,9	-48,5	-51,0
4	1	-3,4	-5,8	-0,4	-2
	2	-16,5	-21,2	-14,9	-18,5
	3	-51,6	-54,7	-49,7	-51,9
5	1	-8,1	-12,6	-5,9	-9,2
	2	-50,9	-54,3	-49,0	-51,4
6	1	-18,2	-21,7	-14,3	-17,7
	2	-51,3	-54,4	-49,9	-52,0
7	1	-8,5	-10,1	-5,4	-6,4
	2	-18,3	-21,2	-13,6	-19,2
	3	-50,6	-54,4	-49,0	-51,4
8	1	-9,9	-13,6	-7,8	-10,5
	2	-51,7	-54,5	-49,1	-51,6
9	1	-15,6	-20,2	-12,0	-15,6
	2	-51,1	-53,9	-48,5	-51,0
10	1	-10,5	-12,4	-7,8	-9,2
	2	-19,5	-23,1	-17,3	-21,7

Таблица 7

Данные по определению температурного предела хрупкости резин

Шифр резины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температурный предел хрупкости, °С	-46	-43	-41	-46	-42	-46	-44	-41	-47	-46

Как видно из табл. 7, в зависимости от соотношения каучуков значения температурного предела хрупкости резин изменяются от минус 41 до минус 47 °С. На основании этих данных и с учетом значений температур стеклования, определенных методом ДСК, можно констатировать сравнительно хороший уровень морозостойкости разработанных эластомеров.

В рамках исследований по проекту «Разработка тепло-, озono-, и биостойких эластомерных материалов с высокой стойкостью к действию солнечной радиации для изделий военной, специальной техники и судостроения», выполняемых ВолГТУ в соответствии с Програм-

мой научных исследований и технологических работ Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, некоторые образцы разработанных резин размещены и испытываются на микологической площадке (см. фото на рис. 4) климатической испытательной станции Кон Зо (г. Хошимин) Южного отделения Тропцентра с целью оценки стойкости к действию микроорганизмов.

Общий вид микологического стенда и состояние образцов по истечении 6 месяцев экспозиции иллюстрируют фотографии рис. 4 и 5.

Рис. 4. Фотография микологической площадки с образцами, размещенными на территории климатической испытательной станции Кон Зо (Южное отделение Тропцентра, г. Хошимин, СРВ)

Рис. 5. Фотографии лицевой и обратной стороны образцов резины на основе комбинации ХСПЭ, БНК и СКЭПТ после 6 месяцев пребывания в микологическом стенде

Визуальных изменений как фактор воздействия деятельности микроорганизмов на поверхности образцов за обозначенный период тестирования не обнаружено. Натурные испытания в настоящее время продолжаются.

Выводы

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют в пользу перспективности применения эластомеров на основе комбинации бутадиеннитрильного каучука, тройного сополимера этилена с пропиленом и дициклопентадиеном в сочетании с хлорсульфированным полиэтиленом. Взятые в определенных соотношениях (в частности, резины по рецептурам 7 и 10) каучуки после вулканизации в присутствии бессерных эффективных вулканизирующих систем обеспечивают резинам наилучший баланс в части низкотемпературных свойств, стойкости к термоокислительному старению и воздействию авиационного керосина, а также стойкости к действию микроорганизмов при натурных испытаниях в условиях тропического климата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Emanuel N.M., Buchachenko A.L. Chemical physics of degradation and stabilization of polymers, VSP International Science Publ., Utrecht, 1982, 354 pp.
2. Meurant G. Atmospheric oxidation and antioxidants. – Elsevier Science, 1993.
3. Исследование низкотемпературных свойств и маслостойкости резин, предназначенных для арктического применения / И. А. Новаков, Д. В. Демидов, Р. А. Гаджимурадов, Д. С. Востриков, М. А. Ваниев // Известия ВолгГТУ : № 4 (183) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – (Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов»). – С. 143–146.
4. Handbook of Specialty Elastomers / Edited by Robert C& Klingender. – USA: CRC Press, 2008. – 558p.

5. Алифанов, Е. В. Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения (обзор) / Е. В. Алифанов, А. М. Чайкун, М. А. Венедиктова, И. С. Наумов // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № 2 (35).
6. Giurgiuca M., Zaharescu T., Meghea A. Degradation of ethylene-propylene elastomers in the presence of ozone, Polymer Degradation and Stability, Vol.50, 1995, p.45.
7. Литвин, О. Б. Основы технологии синтеза каучуков / О. Б. Литвин. – М.: Химия, 2002. – С. 477.
8. Исследование влияния эффективных вулканизирующих систем на свойства резин на основе бутадиен-нитрильного каучука / Д. С. Востриков, Е. С. Бочкарев, П. В. Димитров, М. А. Ваниев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 12 (235) / ВолгГТУ. – 2019. – С. 126–131.

REFERENCES

1. Emanuel N.M., Buchachenko A.L. Chemical physics of degradation and stabilization of polymers, VSP International Science Publ., Utrecht, 1982, 354 pp.
2. Meurant G. Atmospheric oxidation and antioxidants. – Elsevier Science, 1993.
3. Issledovanie nizkotemperaturnykh svoystv i maslostojkosti rezin, prednaznachennykh dlya arkticheskogo primeneniya / I.A. Novakov, D.V. Demidov, R.A. Gadzhimuradov, D.S. Vostrikov, M.A. Vaniev // Izvestiya VolgGTU. Ser. Himiya i tekhnologiya elementoorganicheskikh monomerov i polimernykh materialov. - Volgograd, 2016. - № 4 (183). - С. 143-146.
4. Handbook of Specialty Elastomers / Edited by Robert C& Klingender. – USA: CRC Press, 2008. – 558p.
5. Alifanov E.V., Chajkun A.M., Venediktova M.A., Naumov I.S. Osobennosti receptur rezin na osnove etilenpropilennykh kauchukov i ih primeneniye v izdeliyah special'nogo naznacheniya (obzor) // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2015. №2 (35).
6. Giurgiuca M., Zaharescu T., Meghea A. Degradation of ethylene-propylene elastomers in the presence of ozone, Polymer Degradation and Stability, Vol.50, 1995, p.45.
7. Litvin O.B. Osnovy tekhnologii sinteza kauchukov. - M.: Himiya, 2002. S-477.
8. Issledovanie vliyaniya effektivnykh vulkanizuyushchikh sistem na svoystva rezin na osnove butadien-nitril'nogo kauchuka / D. S. Vostrikov, E. S. Bochkarev, P. V. Dimitrov, M. A. Vaniev // Izvestiya VolgGTU. 2019. № 12 (235). S. 126-131).

I. A. Novakov¹, Dang Minh Thuy², M. A. Vaniev¹, D. A. Nilidin¹,
S.G. Gubin², N.V. Sidorenko¹, N.V. Sychev¹

STUDY OF THE PROPERTIES OF ELASTOMERS BASED ON BUTADIENE NITRILE, ETHYLENE-PROPYLENE RUBBERS AND CHLOROSULPHATED POLYETHYLENE

¹ Volgograd State Technical University

² Russian-Vietnamese Tropical Center

Abstract. The properties of elastomers based on a combination of acrylonitrile-butadiene (NBR), ethylene-propylene (EPDM) rubbers and chlorosulfonated polyethylene (CSM) have been studied for the first time, which have been vulcanized by sulfur-free effective systems. The best balance in terms of frost resistance, heat resistance and fuel resistance is demonstrated by rubbers whose formulations are generally dominated by polar CSM and NBR with lower EPDM content (10-20 mas.h). The results of six-month field tests in tropical climate conditions demonstrate high resistance of elastomers to microorganisms. The obtained results stipulate the prospects of application of the created rubbers for operation in different climatic zones.

Keywords: acrylonitrile-butadiene rubber, ethylene-propylene rubber, chlorosulfonated polyethylene, thermo-oxidative aging, glass transition temperature, kerosene resistance, tropical climate.