

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК [678-477:678.768]-026.71:005.591.1(043.3)

**Усс Елена Петровна**

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ  
ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ  
В СРЕДЕ ПОЛИЭТИЛЕНОКСИДОВ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

Минск 2011

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».

Научный руководитель

**Касперович Андрей Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

**Струк Василий Александрович**, доктор технических наук, профессор, декан факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы;

**Русецкий Денис Валерьевич**, кандидат технических наук, заместитель технического директора – главный технолог открытого акционерного общества «Беларусьрезинотехника»

Оппонирующая организация

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт эластомерных материалов и изделий», г. Москва, Россия

Защита состоится «6» декабря 2011 г. в 11.00 ч на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.04 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова 13а, зал заседаний ученого совета, ауд. 240, корп. 4.

Тел.: (+37517) 227-63-54 (ученый секретарь), факс: (+37517) 227-57-38.

e-mail: root@bstu.unibel.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «3» ноября 2011 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций

кандидат технических наук, доцент



Толкач О.Я.

## ВВЕДЕНИЕ

Работоспособность уплотнительных резиновых изделий (РТИ) определяет ресурс и надежность большинства объектов автомобильной, тракторной, нефтяной и других отраслей промышленности. Интенсивное развитие машиностроения влечет за собой все более высокие требования к надежности РТИ, работающих в условиях повышенных температур, в контакте с агрессивными средами и при высоких трибологических нагрузках. В настоящее время предъявляемый комплекс требований не может быть полностью обеспечен с помощью имеющихся полимеров и ингредиентов. В связи с этим модифицирование эластомерных материалов и изделий из них является одним из приоритетных направлений улучшения эксплуатационных характеристик уплотнительных РТИ. Среди известных способов, интенсивно используемых в промышленности для модифицирования изделий на основе эластомеров, является термодиффузионное модифицирование в жидких средах. Данный способ позволяет улучшить триботехнические характеристики изделий, их стойкость к действию агрессивных сред и др. Выбор модифицирующей среды осуществляется исходя из доступности, стоимости, физико-химических и токсикологических характеристик. Этим требованиям удовлетворяют низкомолекулярные полиэтиленоксиды, которые широко используются в косметических и фармацевтических рецептурах в качестве добавок полифункционального действия, поверхностно-активных веществ, а также в эластомерных композициях, что свидетельствует о высокой эффективности их действия.

В связи с вышеизложенным, актуальным является исследование процесса модифицирования уплотнительных РТИ в среде полиэтиленоксидов с целью повышения их эксплуатационных характеристик.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Настоящая работа выполнялась на кафедре технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов в рамках инновационного проекта федеральной программы России фонда содействия по развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по теме «Выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке высокофункциональных элементов насосной техники из полимерных, эластомерных и композиционных материалов с гетерофазными наноструктурными наполнителями» (Госконтракт № 4657p/6904 от 27.12.2006 г., 2007-2009 гг.), выполнявшихся УО «Белорусским государственным технологическим университетом» по хозяйственным договорам № 26-021 «Разработка альтернативных техноло-

1524 ар



гических приемов для производства эластомерных изделий» (2007 г.) и № 26-054 «Исследование влияния теплоносителя на физико-механические показатели изделий из эластомеров» (2007 г.); темы ГБ № 26-01 «Разработка технологических и физико-химических основ получения органических веществ, материалов и изделий целевого назначения» (2006-2010 гг.).

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является повышение эксплуатационных характеристик уплотнительных резинотехнических изделий на основе бутадиен-нитрильных каучуков путем их модифицирования в среде полиэтиленоксидов.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

- обосновать и провести выбор жидких сред для модифицирования эластомеров с целью получения изделий с улучшенными эксплуатационными характеристиками;

- изучить влияние условий модифицирования эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильных каучуков (БНК) в выбранных средах на их характеристики;

- установить особенности модифицирующего действия жидких сред на структуру эластомерных композиций на основе БНК;

- определить взаимосвязь между структурой вулканизатов и их физико-механическими характеристиками;

- исследовать комплекс эксплуатационных свойств вулканизатов, модифицированных в жидких средах;

- осуществить апробацию полученных уплотнительных РТИ, модифицированных в жидких средах, путем выпуска опытной партии и провести их испытания на предприятиях машиностроительного комплекса Республики Беларусь.

**Объект исследования** – эластомерные композиции на основе бутадиен-нитрильных каучуков различных марок и уплотнительные резинотехнические изделия на их основе.

**Предмет исследования** – процессы, протекающие при модифицировании эластомеров в среде полиэтиленоксидов с молекулярной массой 400 и 4000; структура и свойства модифицированных эластомерных композиций.

Выбор объекта обусловлен целью и задачами исследования.

**Положения, выносимые на защиту.**

- Особенности модифицирующего действия полиэтиленоксидов молекулярной массы 400 и 4000 на эластомерные композиции на основе БНК, заключающиеся в формировании более плотной пространственной сетки с участием межмолекулярных связей физического типа между гидроксильными группами полиэтиленоксида и нитрильными группами каучука.

– Состав модифицирующей среды на основе полиэтиленоксидов различной молекулярной массы, усиливающий эффект изменения физико-механических показателей вулканизатов.

– Зависимости физико-механических показателей эластомерных композиций на основе БНК от температурно-временных параметров модифицирования, позволяющие получать уплотнительные резинотехнические изделия с повышенным ресурсом работы.

– Структура поверхностных слоев эластомерных композиций, модифицированных в среде полиэтиленоксидов, способствующая снижению силы трения уплотнительных резинотехнических изделий.

– Технология производства уплотнительных резинотехнических изделий на основе БНК, модифицированных в среде полиэтиленоксидов с молекулярной массой 400 и 4000; результаты их испытаний и применения в транспортном машиностроении Республики Беларусь и Российской Федерации.

**Личный вклад соискателя** заключается в поиске, систематизации и анализе научной литературы по теме диссертации; участии в постановке цели и задач исследования, планировании и проведении экспериментов. Совместно с сотрудниками центральной заводской лаборатории ОАО «Беларусьрезинотехника» получены экспериментальные данные по измерению силы трения в паре «стальной вал–манжета». Соискатель участвовала в интерпретации и обсуждении основных результатов исследования, проведении необходимых расчетов, в формулировке теоретических выводов, подготовке публикаций; активно участвовала в выпуске опытно-промышленной партии уплотнительных РТИ, модифицированных в среде полиэтиленоксидов.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты исследований были представлены и обсуждены на: V International Conference «New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation» (Zakopane, Poland, 2007), XVIII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (Москва, Россия, 2007), VII Международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» (Гомель, 2007), 72-й, 74-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Минск, 2008, 2010 гг.), Международной научно-практической конференции «Наука и молодежь в начале нового столетия» (Губкин, Россия, 2008), Научно-практической конференции «Шинная и резинотехническая промышленность СК: перспективы и приоритеты развития» (Москва, Россия, 2009), Международной научно-технической конференции «Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов» (Минск, 2009), Международной научно-практической конференции «Проблемы и инновационные решения в химиче-

ской технологии» (Воронеж, Россия, 2010), 8-ой Украинской с международным участием научно-технической конференции «Эластомеры: материалы, технология, оборудование, изделия» (Днепропетровск, Украина, 2010).

**Опубликованность результатов диссертации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 16 печатных работ, в том числе 6 статей в научных журналах, включенных в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований (2,5 авторских листа), 3 материала конференций, 6 тезисов докладов, получено положительное решение о выдаче патента на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 171 стр., из них 42 стр. занимают 22 иллюстрации и 36 таблиц, 19 стр. – список использованных источников, включающий 202 наименования, и приложения на 13 стр.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** посвящена анализу состояния исследований в области модифицирования эластомеров и изделий на их основе с целью улучшения их эксплуатационных свойств, повышения надежности и ресурса работоспособности машин и механизмов. Показано, что применение ряда известных способов модифицирования эластомерных композиций в промышленности ограничено сложностью технического оформления, многостадийностью, трудоемкостью процесса, выделением токсичных продуктов в ходе модифицирования. Модифицирование РТИ в жидких средах является перспективным направлением, позволяющим улучшить триботехнические показатели, стойкость к действию агрессивных сред и др. На основании анализа сведений об используемых жидких средах в качестве модифицирующих выбраны низкомолекулярные полиэтиленоксиды, которые используются в рецептурах эластомерных композиций в качестве добавок полифункционального действия. На основании анализа литературных данных сформулированы цель, задачи и основные направления исследований по тематике диссертационной работы.

**Во второй главе** приведено описание и обоснование объектов исследования, изложены методы исследований. В качестве объектов исследования использовали эластомерные композиции на основе различных марок бутадиен-нитрильных каучуков с содержанием связанного нитрила акриловой кислоты 18 % мас. (БНКС-18), 28 % мас. (БНКС-28) и 40 % мас. (БНКС-40). Предварительную оценку эффективности действия модифицирующей среды проводили на стандартных эластомерных композициях, изготовленных по рекомендуемым рецептам для данных марок каучуков в соответствии с ТУ 38.30313-2006. Более

детальное исследование модифицирования осуществляли с использованием промышленных композиций, изготовленных по промышленным рецептам для производства уплотнительных РТИ.

В качестве модифицирующих сред применяли низкомолекулярные полиэтиленоксиды – полиэтиленгликоли (ПЭГ) с молекулярной массой 400 (ПЭГ 400) и 4000 (ПЭГ 4000). По сравнению с другими жидкими марками полиэтиленгликолей, ПЭГ 400 характеризуется доступностью, низкой стоимостью, наибольшей вязкостью среды, более высокими температурой кипения и теплоемкостью. Высокое содержание гидроксильных групп в ПЭГ 400 обуславливает большую вероятность межмолекулярного взаимодействия с нитрильными группами каучука. Выбор ПЭГ 4000, по сравнению с другими марками высокомолекулярных ПЭГ, связан с особенностями его действия на эластомерную матрицу из-за меньшего содержания гидроксильных групп, относительно невысокой температурой плавления, а также меньшей гигроскопичностью по сравнению с ПЭГ 400. Вследствие высокой вязкости ПЭГ 4000, использовали комбинацию низко- и высокомолекулярного полиэтиленгликолей.

Модифицирование эластомерных композиций на основе БНК в среде полиэтиленоксидов осуществляли следующим образом:

- формование и вулканизация композиций на основе БНК в прессе до достижения заданной степени вулканизации, которая позволяет придать изделиям на их основе нужную форму до окончания процесса вулканизации;
- модифицирование образцов в температурном диапазоне  $140\pm 2$ – $180\pm 2$ °С в течение  $15\pm 0,5$ – $150\pm 0,5$  мин в емкости с жидкой средой.

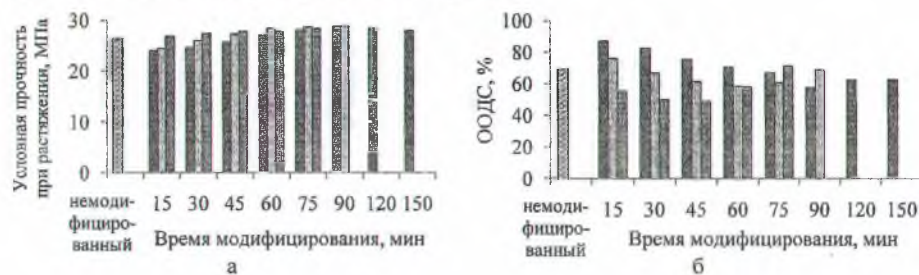
Для определения режимов вулканизации резиновых смесей в прессе использовали кинетические кривые вулканизации, снятые на реометре ODR 2000. Определение показателей физико-механических свойств эластомерных композиций осуществляли по стандартным методикам. Образующуюся сетку поперечных связей вулканизатов оценивали с помощью метода равновесного набухания (растворитель – толуол) и определением содержания свободной серы. Для изучения структуры вулканизатов использовали методы термогравиметрического анализа (термогравиметрический анализатор TGA/DSC 1), дилатометрии (горизонтальный кварцевый дилатометр), ИК-спектроскопии (спектрометр с Фурье-преобразованием NEXUSTM E.P.S.), оптические методы исследования (сканирующий электронный микроскоп Jeol JSM-5610 LV, атомный силовой микроскоп Nanotop III).

Полученные экспериментальные данные статистически обрабатывали с привлечением современного программного обеспечения.

В третьей главе приведены результаты исследований влияния условий модифицирования и молекулярной массы полиэтиленгликолей на физико-механические характеристики стандартных композиций на основе БНК. Экспе-

риментально установлено, что образцы при степени вулканизации 70 %, сформованные в вулканизационном прессе, обладают каркасностью, монолитностью, свободно извлекаются из пресс-формы без нарушения их геометрических размеров, не подвергаются короблению при хранении. Модифицирование полученных образцов осуществляли в среде ПЭГ при температурах  $140 \pm 2$  °С,  $160 \pm 2$  °С и  $180 \pm 2$  °С, и времени от  $15 \pm 0,5$  до  $150 \pm 0,5$  мин.

В результате исследований установлено, что модифицирование стандартных композиций на основе БНК в среде полиэтиленгликоля 400 приводит к изменению их деформационно-прочностных характеристик (рисунок 1). В случае эластомерной композиции на основе БНКС-28 наблюдается повышение значений условной прочности при растяжении – до 17 %, снижение значений относительной остаточной деформации сжатия (ООДС) – от 69 до 49 %, по сравнению с немодифицированным образцом.



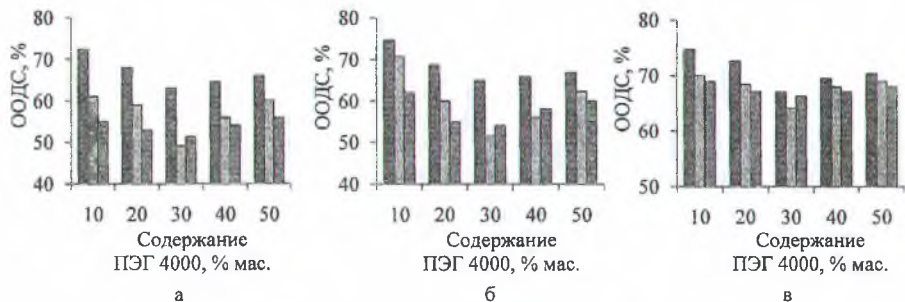
Температура модифицирования: ■ 140 °С ■ 160 °С ■ 180 °С

**Рисунок 1 – Зависимость условной прочности при растяжении и относительной остаточной деформации сжатия вулканизатов на основе БНКС-28 от температуры и времени модифицирования**

Аналогичная зависимость наблюдается и для образцов композиции на основе БНКС-18. Модифицирование вулканизатов на основе БНКС-40 в среде ПЭГ 400 приводит к снижению показателя ООДС (от 74 до 65 %) без существенного изменения других физико-механических показателей.

Для изучения особенностей действия полиэтиленгликоля 4000, содержащего меньшее количество гидроксильных групп, на эластомерную матрицу на основе БНК, были проведены исследования характеристик вулканизатов, модифицированных в комбинации низко- и высокомолекулярного полиэтиленгликолей. В ходе исследований определено, что при соотношении ПЭГ 400+ПЭГ 4000, равном 70:30 % мас. соответственно, наблюдается значительное снижение показателя ООДС, определяющего стабильность качества уплотнительных изделий (рисунок 2). Дальнейшее увеличение содержания ПЭГ 4000 до 40-50 % мас. не приводит к снижению показателя ООДС, что обусловлено эффектом пластифицирования в результате избытка макромолекул ПЭГ в эластомерных композициях.





Время модифицирования, мин: ■ 60 □ 90 ▣ 120  
**Рисунок 2 – Зависимость показателя ООДС вулканизатов на основе БНКС-18 (а), БНКС-28 (б), БНКС-40 (в) от времени модифицирования и содержания ПЭГ 4000**

Модифицирование образцов композиций на основе БНКС-40 в комбинации полиэтиленгликолей оказывает наибольшее влияние на изменение их характеристик по сравнению с модифицированием в ПЭГ 400 (таблица 1).

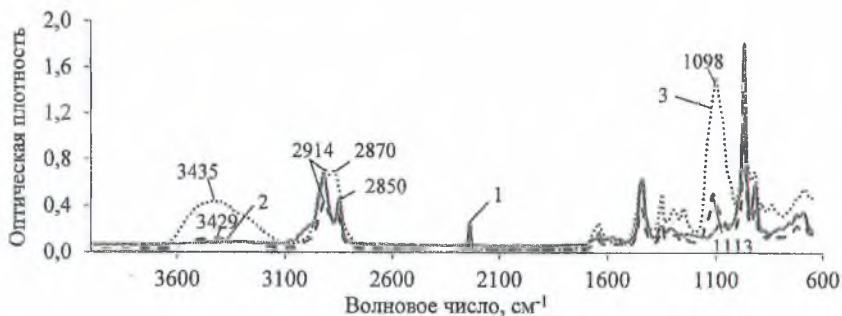
Таблица 1 – Деформационно-прочностные показатели вулканизатов на основе БНКС-40, модифицированных в среде ПЭГ 400 + ПЭГ 4000 (70:30 % мас.)

Время модифицирования, ±0,5 мин	Условная прочность при растяжении, МПа			ООДС (30 % сжатия, 100±2°С×72 ч), %		
	температура модифицирования, ±2°С					
	140	160	180	140	160	180
немодифицированный образец	26,9			74,2		
15	25,7	26,4	28,2	81,2	79,5	79,8
30	26,5	27,9	33,0	77,1	72,5	79,4
45	27,4	29,6	32,4	73,6	62,0	84,2
60	27,8	30,1	32,0	66,0	59,8	85,0
75	29,9	27,0	28,9	52,1	70,5	85,0
90	28,4	26,5	-	64,1	74,3	-
120	27,1	-	-	66,3	-	-
150	26,3	-	-	67,9	-	-

Из данных таблицы 1 видно, что значения условной прочности при растяжении для модифицированных образцов повышаются от 26,9 до 33,0 МПа, а значения ООДС снижаются от 74 до 52 %. При этом в ходе исследований обнаружено, что деформационно-прочностные показатели композиций на основе БНКС-18 и БНКС-28, модифицированных в комбинации ПЭГ, практически не изменяются по сравнению с показателями данных композиций, модифицированных в ПЭГ 400.

В результате экспериментов установлено, что с увеличением времени модифицирования в среде ПЭГ происходит снижение физико-механических показателей вулканизатов, что может быть связано с избытком молекул полиэтиленгликоля в поверхностных слоях и, как следствие, уменьшением межмолекулярного взаимодействия между макромолекулами каучука. При повышении температуры модифицирующее действие полиэтиленгликолей интенсифицируется.

Эксперименты показали, что улучшение физико-механических характеристик вулканизатов, модифицированных в среде ПЭГ, связано с изменением их структуры. Методом ИК-спектроскопии выявлено наличие более широких полос поглощения и смещение центра полосы валентных колебаний ОН-групп в сторону меньших частот (области 3402, 3429 и 3435  $\text{см}^{-1}$ ) по сравнению с индивидуальными ПЭГ 400 и ПЭГ 4000 (области 3448 и 3437  $\text{см}^{-1}$ ), а также смещение центра полосы поглощения (области 1090 – 1114  $\text{см}^{-1}$ ), характеризующей колебания связи С–О (рисунки 3 и 4).



а



б

1 – поверхность немодифицированного образца; 2 – внутренний скел модифицированного образца; 3 – поверхность модифицированного образца  
**Рисунок 3 – ИК-спектры образцов вулканизатов на основе БНКС-28, немодифицированного и модифицированных в среде ПЭГ 400 (а) и комбинации ПЭГ 400 + ПЭГ 4000 (б)**

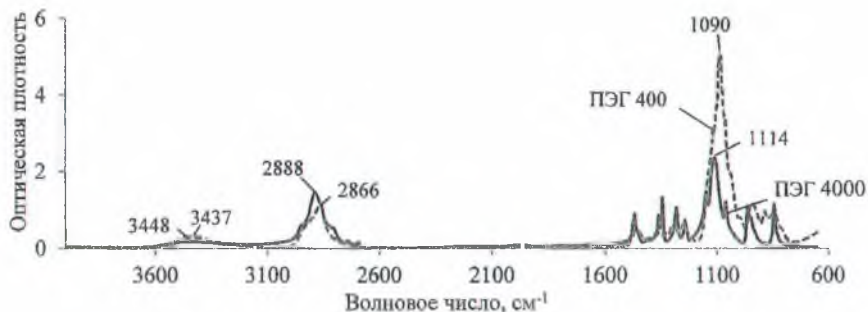
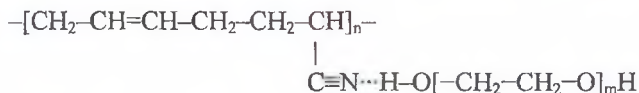


Рисунок 4 – ИК-спектры полиэтиленгликолей

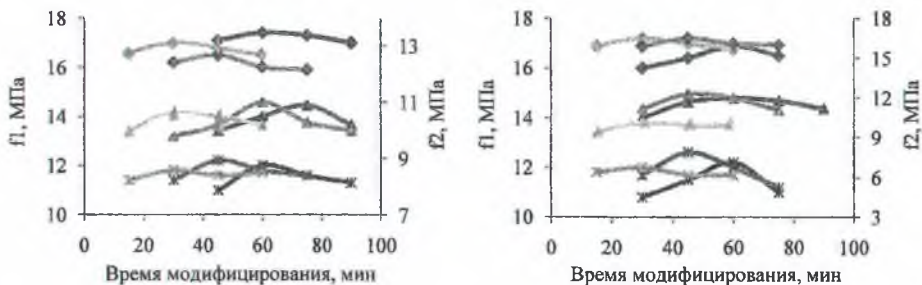
Данные изменения в ИК-спектрах, по-видимому, свидетельствуют об образовании межмолекулярных водородных связей между гидроксильными группами макромолекул полиэтиленгликоля и нитрильными группами макромолекул каучука, в частности:



При этом увеличение молекулярной массы полиэтиленгликоля от 400 до 4000 не изменяет характер ИК-спектра, что свидетельствует о подобности модифицирующего действия ПЭГ. Проведенные исследования показали, что молекулы модифицирующей среды диффундируют в объем образца, создавая градиентную структуру, отличающуюся степенью структурирования в поверхностном слое (рисунок 3, кривые 3) и на глубине скола (рисунок 3, кривые 2).

**Четвертая глава** посвящена исследованию взаимосвязи структуры и свойств промышленных эластомерных композиций, модифицированных в среде полиэтиленгликоля, и определению температурно-временных параметров модифицирования, необходимых для достижения улучшенных показателей композиций.

Для промышленных эластомерных композиций, также как и для стандартных, определено, что модифицирование в полиэтиленгликоле 400 оказывает наибольшее влияние на прочностные показатели вулканизатов на основе БНКС-18 и БНКС-28 по сравнению с немодифицированными: условная прочность при растяжении композиций на основе БНКС-18 увеличивается до 14 %, на основе БНКС-28 – до 20 %, а на основе БНКС-40 практически не изменяется (рисунок 5). Модифицирование в комбинации ПЭГ 400 + ПЭГ 4000 (70:30 % мас.) оказывает влияние на прочностные показатели всех эластомерных композиций.



Температура модифицирования:

— 140 °С — 160 °С — 180 °С

— — вулканизат на основе БНКС-18; — — вулканизат на основе БНКС-28;

— — вулканизат на основе БНКС-40; f1 – условная прочность при растяжении

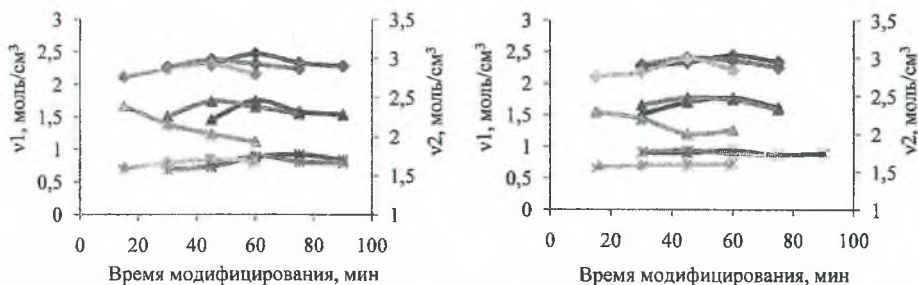
вулканизатов на основе БНКС-18 и БНКС-28; f2 – вулканизатов на основе БНКС-40

**Рисунок 5 – Зависимость условной прочности при растяжении вулканизатов от температурно-временных параметров модифицирования в среде ПЭГ 400 (а) и комбинации ПЭГ 400 + ПЭГ 4000 (б)**

В ходе исследований обнаружено увеличение значений твердости по Шору А до 4 усл. ед. для вулканизатов, модифицированных в комбинации полиэтиленгликолей. Очевидно, что при использовании ПЭГ 4000 наблюдается эффект армирования поверхностного слоя кристаллическими агрегатами модификатора. Это подтверждается результатами исследования модифицированных образцов при нагревании до температуры  $70 \pm 2$  °С, превышающей температуру плавления ПЭГ 4000.

Увеличение температурно-временных параметров модифицирования не приводит к дальнейшему улучшению физико-механических характеристик исследуемых образцов. При этом с повышением температуры до  $180 \pm 2$  °С для эластомерных композиций на основе БНКС-40 наблюдается существенное снижение относительного удлинения при разрыве, что свидетельствует о возрастающей роли процессов деструкции.

Методом равновесного набухания выявлено повышение плотности поперечного сшивания модифицированных вулканизатов на основе БНКС-18 и БНКС-28 от  $2,2 \cdot 10^{-4}$  до  $2,5 \cdot 10^{-4}$  моль/см<sup>3</sup>, а на основе БНКС-40 – от  $8,8 \cdot 10^{-5}$  до  $9,4 \cdot 10^{-5}$  моль/см<sup>3</sup> (рисунок 6). Модифицирование образцов композиций на основе БНКС-18 и БНКС-28 как в среде ПЭГ 400 + 4000, так и в среде ПЭГ 400 приводит к практически одинаковому изменению плотностей поперечного сшивания. Увеличение плотности сшивания вулканизатов на основе данных каучуков может быть связано с коллоидно-химическими процессами, протекающими в поверхностных слоях образцов.



а  
 Температура модифицирования: — 140 °С — 160 °С — 180 °С  
 — вулканизат на основе БНКС-18; — вулканизат на основе БНКС-28;  
 — вулканизат на основе БНКС-40; v1 – плотность сшивания вулканизатов на основе БНКС-40; v2 – вулканизатов на основе БНКС-18 и БНКС-28

**Рисунок 6 – Зависимость плотности поперечного сшивания вулканизатов от температуры и времени модифицирования в среде ПЭГ 400 (а) и комбинации ПЭГ 400 + ПЭГ 4000 (б)**

Для эластомерных композиций на основе БНКС-40 наблюдается увеличение значений плотности сшивания до 4,5 % при модифицировании в среде ПЭГ 400, до 6,8 % – при модифицировании в комбинации ПЭГ 400 + ПЭГ 4000. Учитывая сильное межмолекулярное взаимодействие в данных композициях вследствие большого содержания нитрильных групп в каучуке БНКС-40 можно предположить, что повышение плотности сшивания вулканизатов при модифицировании в ПЭГ 400, вероятно, обусловлено двумя процессами – поверхностно-активным действием ПЭГ и формированием сетки связей физического типа, узлами которой выступают межмолекулярные водородные связи между макромолекулами ПЭГ и БНК. При этом с увеличением молекулярной массы ПЭГ его поверхностно-активные свойства ухудшаются и количество подобных узлов в вулканизатах на основе БНКС-40, по-видимому, должно увеличиваться, что подтверждается данными по плотности сшивания.

Значения плотности поперечного сшивания с увеличением времени модифицирования снижаются для всех исследуемых образцов, что может быть связано с избытком среды в поверхностных слоях либо с преобладанием процессов деструкции. При температуре модифицирования 180±2 °С для всех эластомерных композиций наблюдаются наименьшие значения плотности сшивания, что свидетельствует об увеличении доли реакций деструкции в процессе образования пространственной сетки вулканизата: распад молекулярных цепей эластомера, образование циклических структур за счет распада и перегруппировки полисульфидных связей, что подтверждается изменением физико-механических показателей. Однако для вулканизатов на основе БНКС-18 и

БНКС-28 наблюдаются достаточно высокие значения условной прочности при растяжении при некотором уменьшении значений относительного удлинения при разрыве и плотности поперечного сшивания. Возможно, это обусловлено сочетанием невысокой плотности поперечного сшивания и наличием легко перестраивающихся полисульфидных связей.

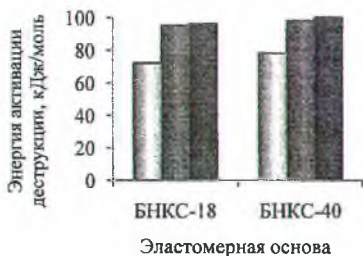
Модифицирование эластомерных композиций различного состава в ПЭГ приводит не только к изменению их деформационно-прочностных характеристик, но и к формированию на поверхности слоя модифицирующей среды. Анализ морфологии поверхностного слоя модифицированного образца с применением данных атомной силовой микроскопии свидетельствует об образовании пленки, образованной ПЭГ, толщиной 3-5 мкм. При этом поверхностный слой образца независимо от состава эластомерной композиции характеризуется совокупностью объектов глобулярного типа с высотной характеристикой 30-70 нм. Модифицирование образцов в низкомолекулярном ПЭГ снижает параметры шероховатости поверхностного слоя преимущественно на микро- и наноуровне (рисунок 7) и, вероятно, связано с заполнением неоднородностей строения, обусловленных технологией изготовления, а также вследствие пластифицирующего действия ПЭГ на поверхностный слой. Подобную морфологию приобретают и образцы, модифицированные в комбинации полиэтиленгликолей, что свидетельствует о преимущественном влиянии физического фактора изменения структуры.



а – образец немодифицированного вулканизата; б – образец вулканизата, модифицированного в ПЭГ 400; в – образец вулканизата, модифицированного в ПЭГ 400 + ПЭГ 4000

### Рисунок 7 – Морфология образцов вулканизатов на основе БНКС-18

Экспериментально установлено, что модифицирование вулканизатов приводит к снижению значений температурного коэффициента линейного расширения в интервале температур  $40 \pm 2 \div 120 \pm 2$  °С, что свидетельствует об уменьшении перегруппировки сегментов макромолекул полимера при нагревании в результате формирования пространственной сетки с более плотной структурой.



- – немодифицированный образец;  
 образец, модифицированный в среде:  
 ■ – ПЭГ 400; ■ – ПЭГ 400 + ПЭГ 4000

**Рисунок 8 – Энергия активации деструкции вулканизатов**

на эластомерные композиции на основе БНК, основанного на образовании межмолекулярных связей физического типа с участием полярных макромолекул каучука и полиэтиленгликоля. При этом изменение характеристик вулканизационной сетки образцов, модифицированных в ПЭГ 400, может быть также связано с его поверхностно-активными свойствами. Улучшение характеристик вулканизатов при использовании ПЭГ 4000 обусловлено армирующим действием высокомолекулярных частиц, которые образуются в объеме композиции при кристаллизации расплава модификатора. Совместное действие низко- и высокомолекулярного ПЭГ обуславливает синергический эффект вследствие сочетания оптимального молекулярного модифицирования и армирующего действия компонентов модифицирующей комбинации.

В ходе исследований установлено, что модифицированные вулканизаты менее подвержены действию повышенных температур и естественных климатических факторов по сравнению с немодифицированными: показатель ООДС модифицированных вулканизатов снижается от 15-45 % до 8-28 %, изменение относительного удлинения при разрыве после старения в воздухе повышается более чем в 1,2 раза, а стойкость к атмосферному старению повышается в 4-6 раза. Причем модифицирование в комбинации сред обеспечивает лучшую стойкость вулканизатов к действию агрессивных сред по сравнению с модифицированием в ПЭГ 400. Вероятно, это обусловлено меньшей подвижностью молекулярных цепей в результате межмолекулярного взаимодействия между полярными структурными элементами макромолекул ПЭГ и БНК, а также образованием на поверхности образцов кристаллической пленки, устойчивой к деформации изделия.

Уплотнительные РТИ, эксплуатирующиеся во многих узлах и механизмах в контакте с различными средами и в условиях трибологических нагрузок, должны обеспечивать высокую герметичность соединения и низкую силу трения. На

Методом термогравиметрического анализа выявлено увеличение значений параметра энергии активации термоокислительной деструкции модифицированных вулканизатов в 1,26-1,33 раза (рисунок 8), что связано с образованием межмолекулярных связей физического типа между полярными группами макромолекул ПЭГ и каучука, а также повышением плотности поперечного сшивания образцов.

Таким образом, анализ результатов исследований свидетельствует о подобности модифицирующего действия полиэтиленгликоля 400 и комбинации полиэтиленгликолей

основании исследований установлено, что модифицированные композиции характеризуются высокой стойкостью к действию жидких агрессивных сред при повышенной температуре. Причем значительное увеличение стойкости (более чем в 1,5 раза) модифицированных вулканизатов наблюдается к действию стандартного масла марки ASTM №1. Определение силы трения в паре «стальной вал–манжета» показало, что модифицирование в ПЭГ 400 обеспечивает снижение силы трения поверхности вулканизатов более чем в 1,4 раза, а модифицирование в комбинации ПЭГ – более чем в 2,4 раза, что обусловлено уменьшением адгезионной составляющей силы трения.

Эффективность модифицирования эластомерных композиций в среде ПЭГ подтверждается сравнением физико-механических показателей вулканизатов, полученных с использованием различных сред (таблица 2).

Таблица 2 – Физико-механические показатели вулканизатов на основе БНКС-18, полученных с использованием различных сред

Наименование показателей	Значение показателя для среды			
	сравнения		модифицирования	
	воздух	расплав нитрит-нитратных солей	ПЭГ 400	ПЭГ 400 + ПЭГ 4000
Условная прочность при растяжении, МПа	12,7	14,9	12,2	12,6
Относительное удлинение при разрыве, %	165	168	215	210
Твердость по Шору А, усл. ед.	77	77	76,4	76,5
ООДС (25±5 %) (100±2 °С×24 ч), %	42,3	37,0	21,5	13,0
Коэффициент теплового старения по относительному удлинению при разрыве (100±2 °С×72±1 ч)	0,8	-	0,95	0,98
Температурный предел хрупкости, °С	-	-53	-50	-49

Из представленных в таблице 2 данных видно, что модифицирование композиций на основе БНКС-18 в среде полиэтиленгликолей позволяет снизить уровень накопления ООДС в 1,7÷3,3 раза, повысить стойкость к тепловому старению в 1,2 раза, что увеличит ресурс работы изделий.

Проведенные исследования позволили определить температурно-временные параметры модифицирования в среде полиэтиленоксидов эластомерных композиций на основе БНКС-18, БНКС-28 и БНКС-40 (140±2 °С и 160±2 °С, 45±0,5 мин и 60±0,5 мин), которые позволяют получать уплотнительные резинотехнические изделия с повышенными тепло- и атмосферостойкостью, стойкостью к действию жидких агрессивных сред, низкими значениями относительной остаточной деформации сжатия и силы трения.

Пятая глава содержит описание технологии изготовления уплотнительных резинотехнических изделий на основе БНК с использованием модифици-



рующих сред и результаты их опытно-промышленных испытаний. Уплотнительные РТИ изготавливали по известной технологии с добавлением стадии модифицирования в среде полиэтиленоксидов.

Для оценки влияния эффективности модифицирования в среде ПЭГ уплотнительных РТИ на ресурс их работы на ООО «РЕАМ-РТИ» (г. Москва) была изготовлена опытная партия изделий (резиноармированные манжеты 1.2-105×138 и сальник амортизатора 64221-2905338), которые прошли стендовые испытания на ОАО «Барановичский автоагрегатный завод» и ОАО «Минский завод колесных тягачей». Установлено, что геометрические размеры резиноармированных манжет, модифицированных в среде ПЭГ, соответствуют ГОСТ 8752-79. Ресурс работы уплотнительных РТИ, модифицированных в среде ПЭГ, без использования дополнительных смазочных материалов, по сравнению с серийными, обработанными антифрикционной смазкой, повышается в 2,5-2,7 раза. Ожидаемый экономический эффект от применения сальников, модифицированных в среде ПЭГ, по заводу ОАО «Барановичский автоагрегатный завод» при годовой потребности 190 тыс. шт. составляет 128,4 млн. рублей (в ценах на 14.06.2010 г.).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты

Установлено, что повышение физико-механических показателей эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильных каучуков, модифицированных в среде полиэтиленоксидов 400 и 4000, обусловлено изменением структуры поверхностных и объемных слоев композиций в результате диффузии полиэтиленоксида в эластомерную матрицу. При этом изменение структуры модифицированных композиций связано с образованием межмолекулярных связей физического типа между гидроксильными группами макромолекул полиэтиленоксида и нитрильными группами макромолекул каучука, подтверждаемое данными ИК-спектроскопии. Это способствует формированию более плотной пространственной сетки, что определено методами термогравиметрического анализа и дилатометрии [3, 4, 6, 9].

Определено, что модифицирование эластомерных композиций в комбинации полиэтиленоксидов 400 и 4000 (70:30 % мас.) усиливает эффект повышения твердости, стойкости к действию агрессивных сред и триботехнических характеристик вулканизатов. При этом кристаллические агрегаты высокомолекулярного полиэтиленоксида 4000 оказывают армирующее действие на поверхностные слои вулканизатов [6].

Определены температурно-временные параметры модифицирования эластомерных материалов на основе БНК в среде полиэтиленоксидов ( $140 \pm 2$  °C и  $160 \pm 2$  °C,  $45 \pm 0,5$  мин и  $60 \pm 0,5$  мин), позволяющие получать уплотнительные

резинотехнические изделия с улучшенными физико-механическими показателями. Показано, что при повышении температуры модифицирования более  $160 \pm 2$  °С преобладающими являются процессы деструкции. Увеличение времени приводит к избытку олигомерного компонента в поверхностных слоях модифицированных образцов, что приводит к эффекту пластифицирования, в результате чего наблюдается снижение физико-механических характеристик модифицированных образцов [1, 2, 16].

Методами сканирующей электронной и атомной силовой микроскопии установлено изменение структуры поверхностных слоев модифицированных вулканизатов за счет образования пленки полиэтиленоксида толщиной, равной 3-5 мкм, на их поверхности. Модифицирование образцов в полиэтиленоксидах снижает параметры шероховатости поверхностного слоя, что способствует снижению силы трения [4, 6, 10, 14].

Установлено, что модифицирование вулканизатов в среде полиэтиленоксидов способствует увеличению прочностных характеристик (до 20 %), существенному снижению уровня накопления относительной остаточной деформации сжатия (от 15-45 % до 8-28 %). При этом происходит увеличение теплоустойчивости (более чем в 1,2 раза) и атмосферостойкости (более чем в 4 раза), стойкости к жидким агрессивным средам (более чем в 1,5 раза). В результате трибологических испытаний уплотнительных РТИ, модифицированных в среде полиэтиленоксидов, установлено снижение силы трения в паре «стальной вал-манжета» более чем в 1,4 раза [3-5, 7, 8, 11-13, 15].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Технология получения резинотехнических изделий, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками, с применением модифицирующих сред – полиэтиленоксида 400 и комбинации полиэтиленоксидов 400 и 4000 (70:30 % мас.) может быть использована на предприятиях, выпускающих уплотнительные РТИ. Модифицирование РТИ на основе БНКС-40 необходимо проводить в комбинации полиэтиленоксидов; на основе БНКС-18 и БНКС-28 – как в среде полиэтиленоксида 400, так и в комбинации полиэтиленоксидов. Выпущена опытная партия уплотнительных РТИ на ООО «РЕАМ-РТИ» (г. Москва), которые испытаны на ОАО «Барановичский автоагрегатный завод» и ОАО «Минский завод колесных тягачей» и получены положительные заключения. Применение уплотнительных РТИ, модифицированных в среде полиэтиленоксидов, не требует дополнительных смазочных материалов при их монтаже в узлы машин. Ожидаемый экономический эффект от применения сальников амортизатора, модифицированных в среде полиэтиленоксидов, по заводу ОАО «Барановичский автоагрегатный завод» при годовой потребности 190 тыс. шт. составляет 128,4 млн. рублей (в ценах на 14.06.2010 г.).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи

1. Molded of rubber articles by liquid curing method / E.P. Kozinets (Uss), A.V. Kasperovich, V.G. Lugin, Z.S. Shashok // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2008. – Rok 84, № 3. – S. 294–296.
2. Усс, Е.П. Влияние теплоносителя на свойства вулканизатов / Е.П. Усс, А.В. Касперович // *Труды БГТУ. Сер. IV. Химия и технология орган. в-в*. – 2008. – Вып. XVI. – С. 90–93.
3. Усс, Е.П. Улучшение эксплуатационных свойств уплотнительных резин / Е.П. Усс, А.В. Касперович, Ж.С. Шашок // *Материалы. Технологии. Инструменты*. – 2010. – Т. 15, № 1. – С. 102–106.
4. Усс, Е.П. Исследование структуры резин, модифицированных в жидкой среде / Е.П. Усс, А.В. Касперович, Ж.С. Шашок // *Труды БГТУ. Сер. IV. Химия и технология орган. в-в*. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 165–169.
5. Модифицирование формовых резиновых изделий на основе бутадиен-нитрильных каучуков в жидкой среде / Е.П. Усс, А.В. Касперович, Ж.С. Шашок, И.С. Пятов, Ю.А. Максимова, Ю.И. Врублевская // *Каучук и резина*. – 2010. – №5. – С. 19–22.
6. Технологии многоуровневого модифицирования резинотехнических изделий для автомобильных агрегатов / Е.П. Усс, В.Д. Полоник, Е.И. Эйсымонт, С.В. Авдейчик, Д.А. Прушак // *Горная механика и машиностроение*. – 2011. – № 3. – С. 31–44.

### Материалы конференций

7. Березун, Е.В. Определение эксплуатационных показателей резины, вулканизированной в жидком теплоносителе / Е.В. Березун, Е.П. Козинец (Усс) // *Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы VII междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 3–4 мая 2007 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого*. – Гомель, 2007. – С. 85–88.
8. Усс, Е.П. Пути повышения качества формовых резинотехнических изделий / Е.П. Усс, А.В. Касперович // *Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов и перспективы их развития: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25–27 нояб. 2009 г.: в 2 ч. / Беларус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский (гл. ред.) [и др.]* – Минск, 2009. – Ч. 1. – С. 12–13.
9. Исследование влияния модифицирования резин в жидкой среде на структуру вулканизационной сетки / Е.П. Усс, А.В. Касперович, Ж.С. Шашок, И.С. Пятов // *Проблемы и инновационные решения в химической технологии*:

материалы междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 30 июня – 2 июля 2010 г. / Воронеж. гос. технол. акад.; под общ. ред. В.И. Корчагина. – Воронеж, 2010. – С. 103–104.

#### Тезисы докладов

10. Применение SEM при изучении поверхности резины / А.В. Касперович, Е.П. Козинец (Усс), В.Г. Лугин, И.С. Пятов, Ж.С. Шашок // New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation: abstracts V Int. Conf., Zakopane, Poland, 12–15 June 2007. – Zakopane, 2007. – Р. 86.

11. Двухстадийный процесс вулканизации резины в жидком теплоносителе / А.В. Касперович, Ж.С. Шашок, Е.П. Козинец (Усс), И.С. Пятов, Е.С. Федотова // Тез. докл. XVIII Мендел. съезда по общ. и прикл. химии: в 5 т., Москва, 23–28 сент. 2007 г. / Рос. акад. наук; Рос. хим. о-во им. Д.И. Менделеева. – М., 2007. – Т. 3. – С. 61.

12. Усс, Е.П. Термостатирование РТИ на основе БНК с целью обеспечения озоностойкости / Е.П. Усс, А.В. Касперович // Наука и молодежь в начале нового столетия: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. студентов, асп. и мол. ученых, Губкин, 10–11 апр. 2008 г. : в 3 ч. – Губкин, 2008. – Ч. 1. – С. 215–217.

13. Усс, Е.П. Оптимизация процесса вулканизации крупногабаритных резиновых изделий в среде жидкого теплоносителя / Е.П. Усс, А.В. Касперович // Сб. науч. работ студентов вузов Респ. Беларусь «НИРС 2007»; редкол.: А.И. Жук (пред.) [и др.]. – Минск: Издат. центр БГУ, 2008. – С. 59.

14. Усс, Е.П. Исследование структуры вулканизатов, термостатированных в жидкой среде / Е.П. Усс, А.В. Касперович // Шинная и резинотехническая промышленность СК: перспективы и приоритеты развития: тез. докл. науч.-практ. конф., Москва, 11 марта 2009 г. / редкол.: С.М. Кавун [и др.]. – М., 2009. – С. 49–51.

15. Усс, Е.П. Повышение теплостойкости эластомерных композиций / Е.П. Усс, А.В. Касперович, Ж.С. Шашок // Эластомеры: материалы, технология, оборудование, изделия: тез. докл. 8-ой Украин. с междунар. участием науч.-техн. конф. резинщиков, Днепропетровск, 27 сент. – 1 окт. 2010 г. / Украин. гос. хим.-технол. ун-т; редкол.: Ю.Р. Эбич (отв. ред.) [и др.]. – Днепропетровск, 2010. – С. 75–77.

#### Заявка на патент

16. Способ модификации изделий из высоконаполненных резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков: заявка № а 20100032 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) В 29 С 35/04 / А.В. Касперович, Е.П. Усс, Ж.С. Шашок, И.С. Пятов, Е.С. Федотова, Ю.А. Максимова, Ю.И. Врублевская. Дата подачи 11.01.2010. Получено положит. решение о выдаче патента на изобрет. от 17.10.2011.

## РЕЗЮМЕ

Усс Елена Петровна

Модифицирование уплотнительных резинотехнических изделий на основе бутадиен-нитрильных каучуков в среде полиэтиленоксидов

**Ключевые слова:** бутадиен-нитрильный каучук, эластомерная композиция, вулканизат, модифицирование, жидкая среда, полиэтиленоксид, структура, физико-механические свойства, уплотнительные изделия.

**Цель работы:** повышение эксплуатационных характеристик уплотнительных резинотехнических изделий на основе бутадиен-нитрильных каучуков путем их модифицирования в среде полиэтиленоксидов.

**Методы исследования:** вибрационная реометрия, термогравиметрический анализ, сканирующая электронная и атомно-силовая микроскопия, ИК-спектроскопия, дилатометрический метод, стандартные методики ГОСТа определения физико-механических свойств вулканизатов.

В ходе исследований установлено, что особенностью модифицирующего действия полиэтиленоксидов молекулярной массы 400 и 4000 на эластомерные композиции на основе бутадиен-нитрильных каучуков является образование межмолекулярных связей физического типа между молекулами полиэтиленоксида и каучука. Определены оптимальные температурно-временные параметры модифицирования эластомерных материалов на основе БНК в среде полиэтиленоксидов. Показано изменение структуры поверхностных слоев модифицированных вулканизатов данными ИК-спектроскопии и оптических методов исследования. Определена толщина пленки, образованной полиэтиленоксидами, на поверхности модифицированных вулканизатов. Установлено, что модифицированные вулканизаты обладают повышенной тепло- и атмосферостойкостью, стойкостью к жидким агрессивным средам, низкими значениями относительной остаточной деформации сжатия и силы трения. Рекомендовано использовать модифицирование в низкомолекулярном полиэтиленоксиде для композиций на основе БНКС-18 и БНКС-28, а модифицирование в комбинации низко- и высокомолекулярного полиэтиленоксидов – для композиций на основе БНКС-18, БНКС-28 и БНКС-40.

**Область применения:** производство уплотнительных резинотехнических изделий, применяемых в узлах трения автомобильных агрегатов, что подтверждено испытаниями на ОАО «Барановичский автоагрегатный завод» и ОАО «Минский завод колесных тягачей».

## РЭЗЮМЭ

Усс Алена Пятроўна

Мадыфікаванне ўшчыльняльных гуматэхнічных вырабаў на аснове бутадыен-нітрыльных каўчукаў у асяроддзі поліэтыленаксідаў

**Ключавыя словы:** бутадыен-нітрыльны каўчук, эластамерная кампазіцыя, вулканізат, мадыфікаванне, вадкае асяроддзе, поліэтыленаквід, структура, фізіка-механічныя ўласцівасці, ушчыльняльныя вырабы.

**Мэта даследавання:** павышэнне эксплуатацыйных характарыстык ушчыльняльных гуматэхнічных вырабаў на аснове бутадыен-нітрыльных каўчукаў шляхам іх мадыфікавання ў асяроддзі поліэтыленаксідаў.

**Метады даследавання:** вібрацыйная рэаметрыя, тэрмагравіметрычны аналіз, сканавальная электронная і атамна-сілавая мікраскапія, ІЧ-спектраскапія, дылатаметрычны аналіз, стандартныя метадыкі ДАСТА вызначэння фізіка-механічных уласцівасцяў.

У ходзе даследаванняў устаноўлена, што асаблівасцю дзеяння поліэтыленаксідаў малекулярнай масы 400 і 4000 як мадыфікатараў на эластамерныя кампазіцыі на аснове бутадыен-нітрыльных каўчукаў з'яўляецца стварэнне межмалекулярных сувязяў паміж малекуламі поліэтыленаксіду і каўчуку. Вызначаны аптымальныя тэмпературна-часавыя параметры мадыфікавання эластамерных матэрыялаў на аснове БНК у асяроддзі поліэтыленаксідаў. Паказана змена структуры паверхневых пластоў мадыфікаваных вулканізатаў, што пацвярджаецца дадзенымі ІЧ-спектраскапіі і аптычных метадаў даследавання. Вызначана таўшчыня плёнкі, утворанай поліэтыленаксідамі, на паверхні мадыфікаваных вулканізатаў. Устаноўлена, што мадыфікаваныя вулканізаты валодаюць павялічанай цепла- і атмасфера-трываласцю, устойлівасцю да вадкіх агрэсіўных асяроддзяў, нізкімі значэннямі адноснай рэшткавай дэфармацыі сціску і сілы трэння. Рэкамендавана выкарыстоўваць мадыфікаванне ў нізкамалекулярных поліэтыленаксідах для кампазіцый на аснове БНКС-18 і БНКС-28, а мадыфікаванне ў камбінацыі нізка- і высокамалекулярных поліэтыленаксідаў – для кампазіцый на аснове БНКС-18, БНКС-28 і БНКС-40.

**Галіна выкарыстання:** вытворчасць ўшчыльняльных гуматэхнічных вырабаў, якія выкарыстоўваюцца ў вузлах трэння аўтамабільных агрэгатаў, што пацверджана выпрабаваннямі на ААТ «Баранавіцкі аўтаагрэгатны завод» і ААТ «Мінскі завод колавых цягачоў».

## SUMMARY

Helena P. Uss

Modification of the sealing rubber products based on butadiene-nitrile rubber in the environment of polyethylene oxide

**Key words:** butadiene-nitrile rubber, elastomeric composition, vulcanizate, modification, liquid media, polyethylene oxide, structure, physical-mechanical properties, sealing articles.

**The aim of the research:** improvement of the performance properties of the sealing rubber articles based on butadiene-nitrile rubber by its modifying in the environment of polyethylene oxide.

**The methods of the research:** vibration rheometry, thermogravimetry, scanning electron and atomic force microscopy, infrared spectroscopy, dilatometry, GOST standard procedures of physical-mechanical properties determination.

The studies found that the feature of modifying action of polyethylene oxide of molecular weight 400 and 4000 for elastomeric compositions based on butadiene-nitrile rubbers is the formation of intermolecular bonds between the molecules of the physical type of polyethylene oxide and rubber. Optimum temperature and time parameters for the modified elastomeric materials based on NBR in the environment of polyethylene oxide are determined. Change of structure of the modified surface layers is shown that proves to be true the data of IR spectroscopy and optical methods. The thickness of polyethylene oxide film on the surface of modified vulcanizates is defined. It is established that the modified vulcanizates have high heat and weather resistance, resistance to liquid aggressive environments, low values of residual compression set and friction. It is recommended to use modifying in low-molecular polyethylene oxide for compositions based on BNKS-18 and BNKS-28, and modifying in the combination of low- and high-molecular polyethylene oxides – for compositions based on BNKS-18, BNKS-28 and BNKS-40.

**Applications:** manufacture of the sealing rubber products used in automotive friction units, which is confirmed by tests at the JSC «Baranovich Auto Aggregate Plant» and JSC «Minsk Wheel Tractor Plant».

Научное издание

Усс Елена Петровна

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ  
ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ  
В СРЕДЕ ПОЛИЭТИЛЕНОКСИДОВ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

Ответственный за выпуск Е. П. Усс

Подписано в печать 03.11.2011. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,4.  
Тираж 60 экз. Заказ 449 .

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.