

УДК 678.728.026

Е. П. Усс, Ж. С. Шашок, А. В. Касперович, О. А. Кротова
Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПОЛИМЕРА
НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ В ОЛИГОМЕРНЫХ СРЕДАХ**

Исследовано влияние модификации эластомерных композиций в среде низкомолекулярного полиэтиленоксида на деформационно-прочностные свойства резин. Для проведения испытаний использовались наполненные эластомерные композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18, а также комбинации синтетических полиизопренового (СКИ-3) и полибутадиенового (СКД) каучуков, предназначенные для производства резиновых виброизоляторов для автотракторной техники. Модификацию осуществляли путем погружения вулканизованных до заданной степени вулканизации образцов резины в ненапряженном состоянии в среду жидкого полиэтиленоксида и выдерживали при температуре $(140 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение различных промежутков времени. Определение деформационно-прочностных характеристик полученных образцов осуществляли на разрывной машине Тензометр Т 220 DC. Выявлены зависимости изменения упруго-прочностных свойств вулканизатов, а также показателя относительной остаточной деформации сжатия от природы полимерной матрицы и от продолжительности модификации.

Установлено, что модификация наполненных эластомерных композиций на основе каучуков различной природы в среде низкомолекулярного полиэтиленоксида способствует увеличению условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве резин, а также позволяет снизить значение показателя относительной остаточной деформации сжатия. Выявлено оптимальное время проведения процесса модификации, обеспечивающее получение вулканизатов с наилучшим комплексом деформационно-прочностных свойств.

Ключевые слова: каучук, эластомерная композиция, модификация, полиэтиленоксид, деформационно-прочностные свойства.

E. P. Uss, Zh. S. Shashok, A. V. Kasperovich, O. A. Krotova
Belarusian State Technological University

**THE INFLUENCE OF POLYMER NATURE ON PROPERTIES
OF ELASTOMER COMPOSITIONS MODIFIED
BY OLIGOMERIC ENVIRONMENTS**

Influence of modification of elastomer compositions in the environment of low molecular weight polyethylene oxide on deformation and strength properties of rubbers are investigated. For testing was used, filled elastomer compositions based on butadiene-nitrile rubber BNKS-18, as well as combinations of synthetic polyisoprene (SKI-3) and polybutadiene (SKD) rubbers, designed the production of rubber vibration isolators for tractors. The modification was carried out by keeping of rubber samples cured to a predetermined degree in the unstressed condition in the environment of liquid polyethylene oxide at temperature of $(140 \pm 2)^\circ\text{C}$ at different time. Determination of deformation and strength characteristics of modified samples was carried out on a tensile testing machine Tensometer T 220 DC. It was found the revealed dependences of change of elastic and strength properties and compression set of vulcanizates from nature of polymer matrix and modification time.

It is established that the modification of filled elastomeric compositions based on rubbers of different nature in the environment of low molecular weight polyethylene oxide contributes to increase the conditional tensile strength and elongation at break of rubbers, and also reduces the value of its compression set. It was found the optimum time of the modification process, ensuring the obtaining of vulcanizates with the best set of deformation and strength properties.

Key words: rubber, elastomer composition, modification, polyethylene oxide, deformation and strength properties.

Введение. Получение высококачественных резинотехнических изделий является важнейшей проблемой в резиновой промышленности. Одним из наиболее эффективных способов повышения качества резин является их модифи-

цирование в жидких олигомерных средах. Применение олигомерных модификаторов полифункционального действия позволяет улучшать в целом комплекс свойств эластомерных материалов. В качестве перспективных модификаторов

широко используются поверхностно-активные вещества, представляющие собой дифильные вещества и отличающиеся структурой полярной и неполярной части молекул (гипофильно-липофильным балансом). Характерным свойством ПАВ является их способность адсорбироваться на границе раздела фаз. При этом молекулы ПАВ вследствие дифильного строения могут адсорбироваться как на полярных, так и на неполярных адсорбентах, ориентируясь в поверхностном слое различным образом. Природа поверхности при этом радикально изменяется, и наиболее общим следствием этого процесса является понижение поверхностного натяжения. Покрывая поверхность твердых тел тончайшими адсорбционными слоями, ПАВ позволяют при введении их в систему в весьма малых количествах резко изменять условия взаимодействия фаз и ход физико-химических процессов [1–3].

Другим ценным свойством ПАВ является их способность к самопроизвольному мицеллообразованию в растворах [4]. Так, мицеллообразование в неводных средах происходит под действием сил притяжения между полярными группами ПАВ и взаимодействия углеводородных радикалов с растворителем. Образующиеся мицеллы обращенного вида содержат внутри полярные группы, окруженные слоем из углеводородных радикалов. Вследствие мицеллярной структуры ПАВ в растворах способны к сольubilизации, что улучшает растворимость веществ, нерастворимых в данном растворителе. При сольubilизации в растворах неионогенных ПАВ, например полиэтиленоксидов, молекулы сольubilизата располагаются на поверхности мицелл среди беспорядочно изогнутых полиоксиэтиленовых цепей [5].

Резиновая смесь является гетерогенной системой, поэтому использование в ее составе ПАВ приводит к улучшению распределения и диспергирования труднорастворимых порошкообразных компонентов смесей, таких как вулканизующие агенты, ускорители серной вулканизации, оксид цинка, модификаторы и др., регулированию межфазных взаимодействий на границах раздела фаз при образовании действительного агента вулканизации и т. д., вследствие чего изменяются и некоторые свойства вулканизатов [6–8]. В связи с этим применение олигомерных поверхностно-активных веществ в качестве модифицирующих сред для эластомерных композиций на основе полярных и неполярных каучуков с целью улучшения комплекса их свойств является актуальным направлением исследовательских работ.

Основная часть. Цель данной работы – сравнительный анализ деформационно-прочност-

ных свойств эластомерных композиций на основе каучуков различной природы, модифицированных в среде низкомолекулярного полиэтиленоксида.

Объектами исследования являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации синтетических полиизопренового и полибутадиенового каучуков, предназначенные для производства резиновых виброизоляторов для автотракторной техники. Наполненные композиции на основе синтетического бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18 нашли широкое применение в производстве уплотнительных резинотехнических изделий, работающих в условиях контакта с нефтепродуктами. Образцом сравнения являлись немодифицированные образцы композиций на основе полярных и неполярных каучуков, полностью свулканизованные в прессе при температуре $(142 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Модифицирование эластомерных композиций в жидкой среде осуществляли следующим образом: вначале образцы композиций вулканизовали в прессе при температуре $(142 \pm 2)^\circ\text{C}$ до достижения минимальной степени вулканизации, при которой образцы обладали необходимой каркасностью, монолитностью и свободно извлекались из пресс-формы без нарушения их геометрических размеров. При данной степени вулканизации прогнозировали наибольшее проникновение среды в объем резины. Затем образцы выдерживали в ненапряженном состоянии в среде модификатора при температуре $(140 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 30–90 мин. Температура модифицирования для эластомерных композиций, содержащих полиизопреновый каучук, свыше 150°C нецелесообразна ввиду использования серной вулканизирующей системы в данной композиции. Повышение температуры модифицирования может вызывать реверсию вулканизации композиций, которая объясняется распадом и перегруппировкой полисульфидных поперечных связей, а также деструкцией молекулярных цепей каучука и приводит к ухудшению ряда механических свойств резин [9].

В качестве модифицирующих сред использовали низкомолекулярный полиэтиленоксид с молекулярной массой 400 (ПЭО 400). Низкомолекулярный полиэтиленоксид относится к неионогенным поверхностно-активным веществам. Дифильные молекулы таких ПАВ состоят из длинной углеводородной цепочки с несколькими полярными, но неионогенными группами на конце, обуславливающими растворимость этих веществ. ПЭО 400 является нетоксичным, имеет приемлемые физико-химические свойства, характеризуется доступностью сырья, простотой

синтеза и низкой стоимостью, что делает его перспективным модификатором для эластомеров. ПЭО 400 представляет собой бесцветную вязкую жидкость [10].

Деформационно-прочностные характеристики образцов определяли на разрывной машине Тензометр Т 220 DC в соответствии с ГОСТ 270–75. Способность вулканизатов сохранять эластические свойства после старения в сжатом состоянии оценивали по величине относительной остаточной деформации сжатия (ООДС) по ГОСТ 9.029–74 в течение $(24 \pm 0,5)$ ч при температурах $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ для резин на основе комбинации СКИ-3 + СКД и $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$ для резин на основе БНКС-18.

В ходе проведенных ранее исследований эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильных каучуков было установлено [11, 12], что при их термодиффузионном модифицировании в среде ПЭО 400, во-первых, происходит адсорбция поверхностно-активных молекул полиэтиленоксида на участках поверхности эластомерного материала. Во-вторых, происходит последующая диффузия молекул ПЭО в поверхностные слои материала за счет его структурной неоднородности и, в-третьих, вследствие наличия градиента концентрации формируется градиентная структура, различающаяся характером распределения модификатора между поверхностным слоем и объемом материала.

Параметр растворимости δ , $(\text{МДж}/\text{м}^3)^{0,5}$, часто используется для предсказания растворимости полимера в различных органических растворителях, а также предварительной оценки совместимости полимеров друг с другом или с пластификатором. Условия смешения полимеров наиболее благоприятны, если энтальпия смешения стремится к нулю, что возможно при максимальной близости параметров растворимости смешиваемых компонентов, и характеризуются параметром совместимости β [13–16]:

$$\beta = (\delta_1 - \delta_2)^2, \quad (1)$$

где δ_1 и δ_2 – параметры растворимости смешиваемых компонентов.

В то же время данное соотношение параметров растворимости полимера и пластификатора не всегда имеет прогнозируемый характер, поскольку отражает только ван-дер-ваальсовы взаимодействия и не учитывает специфических межмолекулярных взаимодействий функциональных групп полимера и растворителя.

Таким образом, разность значений параметров растворимости полиэтиленоксидов и исследуемых каучуков может являться мерой их способности к совмещению (диспергированию). Следует отметить, что чем больше различия в параметрах растворимости компонентов,

тем хуже совместимость. При этом при значениях $\beta = 0 \pm 0,5$ можно считать полимеры хорошо совместимыми [15, 16]. Если диспергаторы, пластификаторы имеют сродство к полимеру, то они самопроизвольно проникают в полимер, т. е. происходит процесс набухания [17].

Для оценки термодинамического сродства полиэтиленоксидов с исследуемыми каучуками были найдены значения их параметров растворимости (табл. 1) путем теоретического расчета по методу Смолла исходя из условных величин энергий взаимодействия различных групп атомов, входящих в состав основного звена молекулярной цепи полимера в соответствии с уравнением [18]:

$$\delta = \frac{\rho \cdot \sum F}{M}, \quad (2)$$

где ρ – плотность ПЭО, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\sum F$ – сумма мольных констант взаимодействия атомных группировок, входящих в элементарное звено, $(\text{Дж} \cdot \text{м}^3)^{0,5}/\text{моль}$ [19]; M – молекулярная масса мономерного звена, $\text{кг}/\text{моль}$.

В табл. 1 представлены значения параметров растворимости и совместимости для систем «каучук – полиэтиленоксид».

Таблица 1

Параметры растворимости и совместимости для систем «каучук – ПЭО»

Полимер	δ , $(\text{МДж}/\text{м}^3)^{0,5}$	β , $\text{МДж}/\text{м}^3$
БНКС-18	18,2	0,36
СКИ-3	16,9	0,49
СКД	17,2	0,16
ПЭО 400	17,6	–

Параметры растворимости каучуков БНКС-18, СКИ-3 и СКД соответственно равны 18,3, 16,9 и 17,2 $(\text{МДж}/\text{м}^3)^{0,5}$. Сопоставление параметров растворимости олигомеров (табл. 1) с эластомерами показывает, что ПЭО с молекулярной массой 400 термодинамически совместим со всеми исследуемыми каучуками: БНКС-18, СКИ-3 и СКД. При этом система «ПЭО – СКД» имеет минимальный параметр совместимости β , равный $0,16 \text{ МДж}/\text{м}^3$.

Таким образом, на основании рассчитанных данных можно предположить, что молекулы модифицирующей среды, термодинамически совместимой с эластомерами, диффундируя в поверхностные слои образцов резины, будут образовывать однофазную систему, что, по видимому, может положительно сказаться на прочностных свойствах вулканизатов [13].

Показатели прочностных свойств характеризуют способность материала сопротивляться

разрушению под действием механических напряжений. При этом прочностные показатели резин зависят от типа каучука, состава резиновой смеси, степени вулканизации, распределения и типа поперечных связей, условий испытаний и т. д. [20]. В табл. 2 представлены основные физико-механические показатели исследуемых резин.

На основании проведенных исследований установлено, что с увеличением времени модифицирования образцов резин на основе бутадиен-нитрильного каучука в среде низкомолекулярного полиэтиленоксида 400 условная прочность при растяжении образцов изменяется по экстремальной кривой, а относительное удлинение при разрыве снижается. Наилучшие значения деформационно-прочностных характеристик наблюдаются для резин, модифицированных в течение 60 мин. В данном случае для модифицированного образца значение показателя условной прочности составляет 8,6 МПа, относительное удлинения при разрыве – 180%, а для немодифицированного условная прочность – 7,5 МПа, относительное удлинение – 200%.

В случае эластомерных композиций на основе неполярных каучуков общего назначения наблюдается аналогичная зависимость, как и для композиций на основе полярного бутадиен-нитрильного каучука. Так, с увеличением времени модифицирования от 30 до 60 мин показатель условной прочности при растяжении увеличивается 12,6 до 15,7 МПа, а относительное удлинение при разрыве модифицированных изменяется от 295 до 375%. При этом для немодифицированного образца значение показателя прочности составляет 12,6 МПа, а относительного удлинения – 310%. При дальнейшем увеличении времени модифицирования до 90 мин наблюдается снижение упруго-прочностных

показателей модифицированных резин, что может быть эффектом пластифицирования системы вследствие избытка олигомерного компонента в поверхностном слое исследуемого образца. Твердость по Шору А модифицированных резин как на основе полярного, так и неполярных каучуков находится в пределах экспериментальной погрешности.

Такой характер изменения деформационно-прочностных свойств исследуемых резин может быть обусловлен поверхностно-активными свойствами низкомолекулярного полиэтиленоксида и непосредственно его влиянием на коллоидно-химические процессы, протекающие в поверхностных слоях резин и на некоторой глубине. В частности, для резин на основе неполярных каучуков роль ПЭО, вероятно, сводится к концентрированию труднорастворимых полярных компонентов вулканизирующей системы в полярном ядре обратных мицелл, образуемых полиоксиэтиленовыми цепями, облегчения взаимодействия их друг с другом и более эффективному их распределению в эластомерной композиции, что способствует более полному использованию вулканизирующего агента. В случае резин на основе бутадиен-нитрильного каучука происходит, по-видимому, концентрирование полярных молекул ПЭО и полярных компонентов вулканизирующей системы в более полярной фазе. При этом в состав мицелл поверхностно-активного ПЭО, в отличие от неполярных каучуков, помимо полярных вулканизирующих агентов могут входить и полярные фрагменты полимерных цепей каучука. В результате такого действия поверхностно-активных полиэтиленоксидов на процесс вулканизации эластомерных композиций может уменьшаться также доля побочных реакций, что соответственно снизит дефекты цепей сетки.

Таблица 2

Физико-механические показатели немодифицированных и модифицированных в среде ПЭО 400 резин

Время модифицирования, мин	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость по Шору А, усл. ед.
Резины на основе БНКС-18А			
Немодифицированный образец	7,5	200	69,8
45	8,6	160	72,4
60	8,6	180	73,0
75	8,5	125	72,1
90	8,9	130	71,8
Резины на основе СКИ-3 и СКД			
Немодифицированный образец	12,6	310	70,3
30	12,4	295	69,9
45	13,5	320	70,0
60	15,7	375	70,6
75	14,8	350	71,0
90	14,1	325	71,0

Кроме того, улучшение прочностных свойств резин на основе полярного каучука может быть обусловлено образованием межмолекулярных связей физического типа между полярными макромолекулами ПЭО и БНК. Диффузия молекул полиэтиленоксида в эластомерные композиции на основе полярных и неполярных каучуков может способствовать и снижению внутренних напряжений в материале, возникающих вследствие незавершенности релаксационных процессов [6–8, 21, 22].

Относительная остаточная деформация при сжатии характеризует способность резин сохранять эластические свойства после выдержки в сжатом состоянии при заданных условиях и складывается из обратимой и необратимой составляющих. Обратимая часть обусловлена релаксационной природой высокоэластической деформации резин, полное восстановление исходной формы образца достигается при определенных температурно-временных условиях выдержки образца после снятия нагрузки. Необратимая часть остаточной деформации обусловлена процессами сшивания и деструкции пространственной сетки деформированного вулканизата. В результате уменьшается количество цепей пространственной сетки, поддерживающих напряжение в деформированном образце и стремящихся восстановить его исходную форму. Сшивание молекулярных цепей каучука ковалентными связями фиксирует деформированное состояние вулканизата, препятствуя восстановлению исходной формы образца [23].

В табл. 3 приведены данные исследования влияния модифицирования исследуемых резин на показатель ООДС.

Таблица 3
Относительная остаточная деформация сжатия резин

Время модифицирования, мин	ООДС, %
Резины на основе БНКС-18А	
Немодифицированный образец	35,0
45	31,3
60	25,4
75	20,4
90	16,5
Резины на основе СКИ-3 и СКД	
Немодифицированный образец	19,7
30	14,5
45	13,2
60	11,7
75	11,5
90	10,4

Из представленных в табл. 3 данных видно, что модифицированные образцы характеризуются более низкими значениями показателя ООДС по сравнению с немодифицированными образцами. При этом наибольшее снижение значений показателя ООДС от 35,0% до 16,5% наблюдается у образцов на основе бутадиен-нитрильного каучука. С увеличением времени модифицирования показатель ООДС резин снижается. Это, вероятно, связано с такими факторами, как формирование более плотной пространственной структуры, обусловленной повышением плотности поперечного сшивания и образованием межмолекулярных связей физического типа между полярными группами макромолекул ПЭО и БНК, а также разрушение слабых полисульфидных связей серных вулканизатов с образованием более прочных связей с меньшей степенью сульфидности при модифицировании в среде полиэтиленоксидов.

Для модифицированных образцов резин на основе каучуков общего назначения также наблюдается существенное снижение показателя ООДС. Так, для модифицированных резин показатель ООДС уменьшается в 1,4–1,9 раз по сравнению с немодифицированным образцом. Изменение показателя ООДС модифицированных резин может быть обусловлено влиянием полиэтиленоксидов на процесс окончательного формирования вулканизационной структуры и природы поперечных связей образцов.

Заключение. В ходе проведенного сравнительного анализа свойств резин на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18 и комбинации каучуков СКИ-3 + СКД, модифицированных в среде низкомолекулярного полиэтиленоксида, установлено увеличение условной прочности при растяжении вулканизатов до 25%, относительного удлинения при разрыве – до 21%, снижение показателя ООДС в 1,1–2 раза. Такое изменение физико-механических показателей модифицированных резин может быть связано с изменением структуры поверхностных и объемных слоев композиций в результате диффузии низкомолекулярного полиэтиленоксида в эластомерную матрицу. В результате поверхностно-активных свойств полиэтиленоксида, по-видимому, происходит изменение коллоидно-химических характеристик системы при протекании процесса довулканизации эластомерных композиций в модифицирующей среде. Кроме того, изменение структуры композиций на основе БНКС-18 может быть также обусловлено образованием межмолекулярных связей физического типа между гидроксильными группами молекул полиэтиленоксида и нитрильными группами макромолекул каучука.

Выявлено, что с увеличением времени модифицирования в жидких средах происходит ухудшение физико-механических показателей вулка-

низатов на основе полярных и неполярных каучуков, что может быть связано с пластифицирующим действием олигомерной среды в эластомере.

Литература

1. Абрамзон А. А. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества: справ. пособие. Л.: Химия, 1984. 391 с.
2. Толстая С. Н. Применение ПАВ в полимерных материалах. М.: Химия, 1976. 176 с.
3. Инсарова Г. В. Влияние поверхностно-активных веществ на переработку резиновых смесей и свойства резин. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1980. 49 с.
4. Русанов А. И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ. СПб.: Химия, 1992. 280 с.
5. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1989. 400 с.
6. Писаренко Т. И., Гришин Б. С. ПАВ и серная вулканизация полиизопрена // Каучук и резина. 1992. № 2. С. 6–11.
7. Донцов А. А., Канаузова А. А., Литвинова Т. В. Каучук-олигомерные композиции в производстве резиновых изделий. М.: Химия, 1986. 216 с.
8. Донцов А. А. Процессы структурирования эластомеров. М.: Химия, 1978. 288 с.
9. Корнев А. Е., Буканов А. М., Шевердяев О. Н. Технология эластомерных материалов. М.: Истерик, 2009. 504 с.
10. Дымент О. М., Казанский К. С., Мирошников А. М. Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. М.: Химия, 1976. 376 с.
11. Модифицирование формовых резиновых изделий на основе бутадиен-нитрильных каучуков в жидкой среде / Е. П. Усс [и др.] // Каучук и резина. 2010. № 5. С. 19–22.
12. Технологии многоуровневого модифицирования резинотехнических изделий для автомобильных агрегатов / Е. П. Усс [и др.] // Горная механика и машиностроение. 2011. № 3. С. 31–44.
13. Тугорский И. А., Потапов Е. Э., Шварц А. Г. Химическая модификация эластомеров. М.: Химия, 1993. 304 с.
14. Аскадский А. А., Кондращенко В. И. Компьютерное материаловедение полимеров. М.: Научный мир, 1999. Т. 1. 544 с.
15. Оценка параметра растворимости алкилфенолформальдегидных смол / Н. А. Охотина [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 7. С. 114–118.
16. Киреев В. В. Высокомолекулярные соединения: учеб. для вузов. М.: Высш. школа, 1992. 552 с.
17. Тагер А. А. Физикохимия полимеров. М.: Химия, 1978. 544 с.
18. Шварц А. Г., Динзбург Б. Н. Совмещение каучуков с пластиками и синтетическими смолами. М.: Химия, 1972. 224 с.
19. Шутилин Ю. Ф. Физикохимия полимеров. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2012. 838 с.
20. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.
21. Исследование влияния ПАВ на свойства каучуков и наполненных резиновых смесей / Т. И. Писаренко [и др.] // Каучук и резина. 1987. № 4. С. 13–16.
22. Влияние ПАВ на озоностойкость резин / М. П. Фармаковская [и др.] // Каучук и резина. 1988. № 10. С. 44–45.
23. Федюкин Д. Л., Махлис Ф. А. Технические и технологические свойства резин. М.: Химия, 1985. 240 с.

References

1. Abramzon A. A. *Poverkhnostnye yavleniya i poverkhnostno-aktivnye veshchestva: sprav. posobie* [Surface phenomena and surfactants: a reference guide]. Leningrad, Khimiya Publ., 1984. 391 p.
2. Tolstaya S. N. *Primenenie PAV v polimernykh materialakh* [The use of surfactants in polymer materials]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 176 p.
3. Insarova G. V. *Vliyaniye poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na pererabotku rezinovykh smesey i svoystva rezin* [The influence of surfactants on the processing of rubber compounds and properties of rubbers]. Moscow, CNIITJeneftehim Publ., 1980. 49 p.

4. Rusanov A. I. *Mitselloobrazovanie v rastvorakh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv* [Micelle formation in solutions of surface-active substances]. St. Petersburg, Khimiya Publ., 1992. 280 p.
5. Frolov Yu. G. *Kurs kolloidnoy khimii. Poverkhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy* [Course of colloid chemistry. Surface phenomena and disperse systems]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 400 p.
6. Pisarenko T. I., Grishin B. S. Surfactants and sulfur vulcanization of polyisoprene. *Kauchuk i rezina* [Kauchuk and rubber], 1992, no. 2, pp. 6–11 (In Russian).
7. Dontsov A. A., Kanauzova A. A., Litvinova T. V. *Kauchuk-oligomernye kompozitsii v proizvodstve rezinovykh izdeliy* [Rubber-oligomeric compositions in the manufacture of rubber products]. Moscow, Khimiya Publ., 1986. 216 p.
8. Dontsov A. A. *Protsessy strukturirovaniya elastomerov* [The process of structuring elastomers]. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 288 p.
9. Kornev A. Ye., Bukanov A. M., Sheverdyayev O. N. *Tekhnologiya elastomernykh materialov* [Technology elastomeric materials]. Moscow, Isterik Publ., 2009. 504 p.
10. Dymont O. M., Kazanskiy K. S., Miroshnikov A. M. *Glikoli i drugie proizvodnye okisey etilena i propilena* [Glycols and other derivatives of oxides of ethylene and propylene]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 376 p.
11. Uss E. P., Kasperovich A. V., Shashok Zh. S., Pyatov I. S., Maksimova Yu. A., Vrublevs-kaya Yu. I. Modification of moulded rubber products based on butadiene-nitrile rubbers in the liquid medium. *Kauchuk i rezina* [Kauchuk and rubber], 2010, no. 5, pp. 19–22 (In Russian).
12. Uss E. P., Polonik V. D., Eysymont E. I., Avdeychik S. V., Prushak D. A. Multi-layered modification of rubber products for automobile units. *Gornaya mehanika i mashinostroenie* [Mining mechanical and engineering], 2011, no. 3, pp. 31–44 (In Russian).
13. Tutorskiy I. A., Potapov Ye. E., Shvarts A. G. *Khimicheskaya modifikatsiya elastomerov* [Chemical modification of elastomers]. Moscow, Khimiya Publ., 1993. 304 p.
14. Askadskiy A. A., Kondrashchenko V. I. *Komp'yuternoe materialovedenie polimerov* [Computer material science of polymers]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 1999. Vol. 1. 544 p.
15. Okhotina N. A., Vedyashkina D. A., Ilyazov M. F., Savelchev A. P. Estimation of the solubility parameter of the resins alkylphenolformaldehyde. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan technological University], 2011, no. 7, pp. 114–118 (In Russian).
16. Kireev V. V. *Vysokomolekulyarnye soedineniya: ucheb. dlya vuzov* [High-molecular compounds: a textbook for high schools]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1992. 552 p.
17. Tager A. A. *Fizikokhimiya polimerov* [Physicochemistry of polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 544 p.
18. Shvarts A. G., Dinzbarg B. N. *Sovmeshchenie kauchukov s plastikami i sinteticheskimi smolami* [The combination of rubber with plastics and synthetic resins]. Moscow, Khimiya Publ., 1972. 224 p.
19. Shutilin Yu. F. *Fizikokhimiya polimerov* [Physicochemistry of polymers]. Voronezh: Voronezhskiy gosudastvennyy universitet Publ., 2012. 838 p.
20. Zhovner N. A., Chirkova N. V., Hlebov G. A. *Struktura i svoystva materialov na osnove elastomerov* [Structure and properties of materials based on elastomers]. Omsk, RosZITLP Publ., 2003. 276 p.
21. Pisarenko T. I., Grishyn B. S., Maslikhova K. P., Bukanov A. M. Study of the effect of surfactants on the properties of filled rubbers and rubber compounds. *Kauchuk i rezina* [Kauchuk and rubber], 1987, no. 4, pp. 13–16 (In Russian).
22. Farmakovskaya M. P., Shapkin A. N., Doncov A. A., Mikhaylova G. N. Influence of surfactants on otositelnosti rubber. *Kauchuk i rezina* [Kauchuk and rubber], 1988, no. 10, pp. 44–45 (In Russian).
23. Fedyukin D. L., Makhlis F. A. *Tekhnicheskie i tehnologicheskie svoystva rezin* [Technical and technological properties of rubbers]. Moscow, Khimiya Publ., 1985. 240 p.

Информация об авторах

Усс Елена Петровна – кандидат технических наук, ассистент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: uss@belstu.by

Шашок Жанна Станиславовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: shashok@belstu.by

Касперович Андрей Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: andkasp@belstu.by

Кротова Ольга Александровна – ассистент кафедры аналитической химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: o.krotova@belstu.by

Information about the authors

Uss Elena Petrovna – PhD (Engineering), Assistant, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uss@belstu.by

Shashok Zhanna Stanislavovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shashok@belstu.by

Kasperovich Andrey Victorovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Head of the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andkasp@belstu.by

Krotova Olga Aleksandrovna – Assistant, the Department of Analytical Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.krotova@belstu.by

Поступила 23.10.2017