

# ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

## CHEMICAL ENGINEERING

---

УДК 678.046

**Е. П. Усс, Н. Р. Прокопчук, Ж. С. Шашок, О. А. Кротова, А. Ю. Ключев**  
Белорусский государственный технологический университет

### **СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С НОВЫМИ ЗАМЕНИТЕЛЯМИ КАНИФОЛИ И НАНОРАЗМЕРНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ**

Исследована возможность совместного применения новых лесохимических продуктов на основе канифолетерпеностирольномалеиновых аддуктов в присутствии наноразмерных модификаторов в составе шинных эластомерных композиций на основе комбинации синтетических полиизопренового и полибутадиенового каучуков. Установлено влияние типа и дозировки аддуктов и наномодификаторов на адгезионные и упругопрочностные свойства композиций. Канифолетерпеностирольномалеиновые аддукты, полученные путем высокотемпературной обработки смеси терпентина и стирола малеиновым ангидридом, вводили в резиновые смеси в равнозначных дозировках с промышленным повысителем клейкости – канифолью сосновой. В качестве наноразмерных компонентов использовали опытные образцы модифицированной алмазосодержащей шихты с различным содержанием наночастиц в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. Выявлено, что применение алмазосодержащей шихты приводит к улучшению конфекционной клейкости эластомерных композиций с канифолесодержащими добавками, что позволит увеличить временной интервал хранения резиновых смесей и обеспечить монолитность при сборке многослойных изделий. Определено некоторое снижение прочностных характеристик резин с канифолесодержащими добавками в присутствии наномодификаторов при сохранении эластических свойств на уровне образца сравнения.

**Ключевые слова:** эластомерная композиция, канифолетерпеностирольномалеиновый аддукт, наномодификатор, клейкость, прочность.

**Для цитирования:** Усс Е. П., Прокопчук Н. Р., Шашок Ж. С., Кротова О. А., Ключев А. Ю. Свойства эластомерных композиций с новыми заменителями канифоли и наноразмерными модификаторами // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 2 (271). С. 5–12. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-271-2-1.

**E. P. Uss, N. R. Prokopchuk, Zh. S. Shashok, O. A. Krotova, A. Yu. Klyuev**  
Belarusian State Technological University

### **PROPERTIES OF ELASTOMER COMPOUNDS WITH NEW ROSIN SUBSTITUTES AND NANOSIZED MODIFIERS**

The possibility of combined use of new wood chemical products based on rosin-terpene-styrene-maleic adducts in the presence of nanosized modifiers in tire elastomer compositions based on a combination of synthetic polyisoprene and polybutadiene rubbers has been studied. The influence of the type and dosage of adducts and nanomodifiers on adhesive and elastic-strength properties of the elastomer compositions has been established. Rosin-terpene-styrene-maleic adducts, obtained by high-temperature treatment of a mixture of turpentine and styrene with maleic anhydride, were introduced into rubber compounds in equivalent dosages with an industrial tackifier, pine rosin. As nanosized modifiers we used prototypes of a modified diamond-containing charge with different content of nanoparticles in dosages of 0.1 and 0.2 phr. It was found that the use of a diamond-containing charge leads to an improvement in the confection tackiness of elastomer compositions with rosin-containing additives, which will increase the time interval for the storage of rubber compounds and ensure solidity when assembling multilayer products. A certain decrease in the strength characteristics of rubbers with rosin-containing additives in the presence of nanomodifiers was determined while maintaining the elastic properties at the level of the compared sample.

**Keywords:** elastomer compound, rosin-terpene-styrene-maleic adduct, nanomodifier, tackiness, strength.

**For citation:** Uss E. P., Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S., Krotova O. A., Klyuev A. Yu. Properties of elastomer compounds with new rosin substitutes and nanosized modifiers. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2023, no. 2 (271), pp. 5–12. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-271-2-1 (In Russian).

**Введение.** Канифоль и продукты на ее основе применяют в составе эластомерных композиций в качестве повысителей клейкости, а также для регулирования пластоэластических свойств резиновых смесей [1–3]. В присутствии канифоли улучшается диспергирование порошкообразных ингредиентов в эластомерной матрице и сохраняются высокие эластические и динамические свойства резин [4]. В последние несколько лет спрос на канифоль существенно возрос в связи с увеличением объемов производства конечных продуктов, получаемых на ее основе. Наличие диспропорций между получением и потреблением канифоли приводит к ее дефициту [5]. В связи с этим практическое использование в эластомерных материалах новых и эффективных отечественных заменителей канифоли на основе лесо- и нефтехимического сырья с широким диапазоном физико-химических свойств является актуальным направлением научно-исследовательских работ.

Одним из перспективных способов модификации свойств эластомерных композиций считается применение в их составе наноматериалов, которые ввиду особенностей их размеров и уникальной структуры в малых дозировках улучшают технологические, упругопрочностные, триботехнические и другие характеристики полимерных материалов [6–10]. Совместное применение канифолесодержащих добавок и наноматериалов в эластомерных материалах позволит определить зависимости изменения технологических параметров их получения от качественного и количественного состава вводимых компонентов.

**Основная часть.** Целью работы являлась возможность совместного применения опытных образцов лесохимических продуктов – канифолетерпеностирольномалеиновых аддуктов (КТСМА) и наноразмерных модификаторов в наполненных эластомерных композициях.

Объектами исследования выступали наполненные композиции на основе комбинации синтетических полиизопренового и полибутадиенового каучуков, не содержащие промышленных пластифицирующих добавок. Состав наполненной композиции представлен в табл. 1.

Канифолетерпеностирольномалеиновые аддукты получены путем высокотемпературной обработки смеси терпентина и стирола малеиновым ангидридом. Для их получения использовался терпентин, произведенный на ОАО «Лесохимик»

(Борисов, Республика Беларусь). Состав реакционной смеси и физико-химические характеристики добавок приведены в табл. 2 [5–11].

Таблица 1

**Состав наполненной эластомерной композиции**

Наименование ингредиентов	Содержание ингредиентов, мас. ч./100 мас. ч. каучука
СКИ-3	70,0
СКД	30,0
Вулканизирующая группа	2,7
Наполнитель	49,0
Прочие ингредиенты	13,5

Таблица 2

**Состав реакционной смеси и характеристики добавок КТСМА**

Шифр добавки	Состав реакционной смеси, мас. %		Кислотное число, мг КОН/г	Температура размягчения, °С
	терпентин : стирол	малеиновый ангидрид		
КТСМА 95 : 5	95 : 5	46	276	84
КТСМА 80 : 20	80 : 20	55	288	93

Аддукты представляют собой многокомпонентные сплавы из малеопимаровой кислоты, аддуктов терпеновых углеводов с малеиновым ангидридом, стирольномалеинового аддукта и смоляных кислот, не реагирующих с малеиновым ангидридом (рис. 1).

Ранее проведенные исследования показали перспективность применения КТСМА в составе эластомерных композиций. Введение аддуктов определенных типов приводит к увеличению стойкости резиновых смесей к подвулканизации, их склеивающей способности и позволяет расширить временной интервал их хранения по сравнению со смесями, содержащими канифоль [12].

Дозировка КТСМА в исследуемых резиновых смесях составляла 2,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. В качестве образца сравнения использовали эластомерную композицию, содержащую канифоль сосновую, которая применялась в равнозначной дозировке с опытными аддуктами.

В наполненные композиции также вводились наноразмерные компоненты в виде опытных образцов модифицированной алмазосодержащей шихты,

отличающиеся содержанием наночастиц. Опытные образцы шихты применялись в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука.

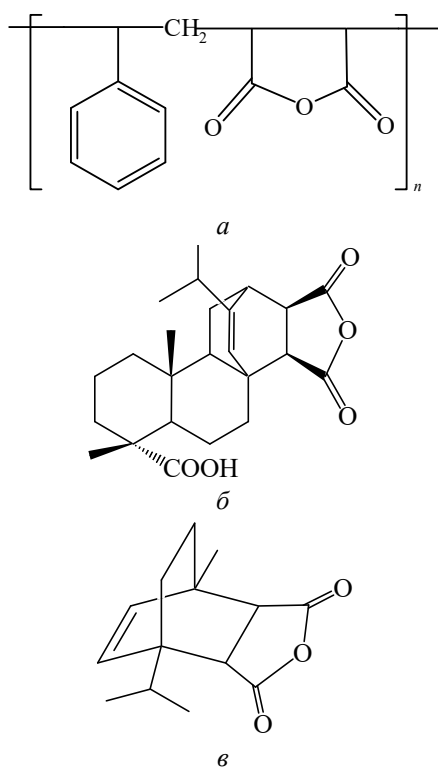


Рис. 1. Структурные формулы предполагаемых компонентов КТСМА: *a* – стиромаль; *б* – малеопимаровая кислота; *в* – аддукт  $\alpha$ -терпинена и малеинового ангидрида

Клейкость – способность полимерных материалов одинакового или разного состава соединяться друг с другом непосредственно после установления контакта между ними в течение короткого времени под небольшим давлением. Обеспечение требуемых адгезионных характеристик резиновых смесей особенно важно при выполнении сборки многослойных резиновых изделий [1, 2, 13]. Определение конфекционной клейкости исследуемых резиновых смесей осуществлялось с помощью прибора Tel-Tak. Метод заключался в измерении усилия, необходимого для разделения двух контактирующих образцов, изготовленных из резиновой смеси, после предварительного контакта на протяжении установленного времени при постоянных величинах контактной нагрузки и скорости деформирования [14]. Влияние КТСМА в присутствии наноматериалов на степень сохранения конфекционных свойств резиновых смесей оценивали после их хранения при температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 3 и 7 сут. Результаты изменения клейкости образцов наполненных резиновых смесей представлены на рис. 2.

Из данных, приведенных на рис. 2, видно, что применение модифицированной алмазосодержащей шихты с меньшим количеством наночастиц (шихта 1,6) приводит к увеличению конфекционной клейкости резиновых смесей со всеми исследуемыми канифолесодержащими добавками по сравнению с композициями без наномодификатора. Выявлено, что при введении шихты 1,6 в определенной дозировке клейкость резиновых смесей с канифолью и КТСМА 95 : 5 возрастает соответственно до 23,5 и 28,1%, а смесей с КТСМА 80 : 20 – до 29,9%.

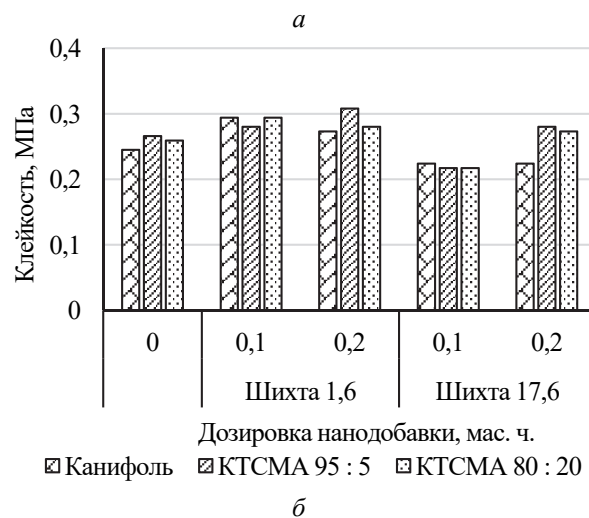
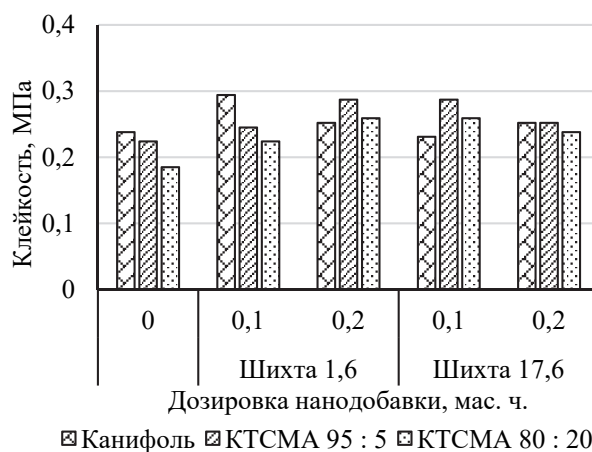


Рис. 2. Зависимость изменения клейкости резиновых смесей от времени их хранения: *a* – 3 сут; *б* – 7 сут

Установлено, что для эластомерных композиций с канифолью при времени их хранения от 3 до 7 сут и дозировке шихты 1,6, равной 0,1 мас. ч., клейкость составляет 0,294 МПа, а при дозировке шихты 0,2 мас. ч. данный показатель изменяется в пределах от 0,252 до 0,273 МПа. При этом склеивающая способность образца сравнения без наноматериала составляет 0,238–0,245 МПа в зависимости от режима хранения смесей. Необходимо отметить, что с увеличением дозировки шихты 1,6

в композициях, содержащих канифоль, их конфекционная клейкость снижается при хранении смесей в течение 3 и 7 сут. Определено, что при введении наноматериала в дозировке 0,2 мас. ч. наибольшее (14,3%) падение клейкости смесей с канифолью происходит на 3-и сутки, а наименьшее (7,1%) – на 7-е сутки хранения.

При использовании КТСМА с соотношением терпентин : стирол, равным 95 : 5 (КТСМА 95 : 5), выявлено, что с увеличением содержания шихты 1,6 независимо от продолжительности вылежки смесей значение их клейкости повышается. Так, при малом режиме хранения (3 сут) смесей с КТСМА 95 : 5 отмечен рост показателя клейкости от 0,245 до 0,280 МПа при дозировке шихты 1,6, равной 0,1 мас. ч., и от 0,287 до 0,308 МПа при дозировке нанодобавки 0,2 мас. ч. Установлено, что наибольшей склеивающей способностью (0,308 МПа) характеризуются образцы с КТСМА 95 : 5 и шихтой 1,6 в дозировке 0,2 мас. ч.

В случае эластомерных композиций, содержащих КТСМА 80 : 20 и алмазосодержащую шихту 1,6, выявлен неоднозначный характер изменения клейкости от количественного содержания наноматериала и сроков хранения смесей. На 3-и сутки хранения происходит повышение клейкости смеси на 15,6% при увеличении дозировки шихты 1,6 до 0,2 мас. ч. В то же время при 7 сут вылежки резиновой смеси отмечено уменьшение склеивающей способности до 4,8%.

При введении в исследуемые эластомерные композиции шихты с большим содержанием наночастиц (шихта 17,6) выявлена несколько иная зависимость изменения показателя клейкости для смесей с канифолесодержащими добавками. Анализ данных показал, что для композиций с канифолью, хранившихся в течение 3 сут, установлено повышение их клейкости до 9,1% с увеличением дозировки нанодобавки до 0,2 мас. ч. Однако при времени вылежки 7 сут для смесей с канифолью и шихтой 17,6 независимо от дозировки последней проявляется тенденция к уменьшению показателя клейкости на 8,6%.

Для эластомерных композиций, содержащих аддукт КТСМА 95 : 5, при повышении дозировки шихты 17,6 выявлено, что после 3 сут хранения склеивающая способность смесей снижается от 0,287 до 0,252 МПа, а после 7 сут – увеличивается на 29,0%. В то же время повышение сроков хранения смесей с КТСМА 95 : 5 при постоянной дозировке шихты 17,6 приводит к неоднозначному изменению клейкости. Так, при содержании шихты 0,1 мас. ч. в смесях с КТСМА 95 : 5 после их хранения в течение от 3 до 7 сут обнаружено снижение клейкости от 0,287 до 0,217 МПа, а при дозировке шихты 0,2 мас. ч. – повышение показателя на 11,1%. Аналогичный характер изменения конфекционной клейкости от дозировки

шихты 17,6 и режима хранения резиновых смесей установлен для композиций с КТСМА 80 : 20 и шихтой с большим содержанием наночастиц.

Таким образом, по результатам проведенных исследований выявлено, что применение модифицированной алмазосодержащей шихты приводит к увеличению конфекционной клейкости эластомерных композиций с канифолесодержащими добавками. При этом склеивающая способность композиций в целом определяется типом вводимой нанодобавки и ее дозировкой, а также природой канифолесодержащего продукта. Установлено, что с увеличением времени хранения образцов смесей с канифолесодержащими и наноразмерными добавками определенных типов и дозировок проявляется тенденция к улучшению конфекционных свойств, что позволит увеличить сроки хранения эластомерных композиций и обеспечить монолитность при сборке многослойных резиновых изделий.

Показано, что увеличение содержания наночастиц в модифицированной алмазосодержащей шихте неоднозначно влияет на склеивающую способность резиновых смесей как с промышленным повысителем клейкости, так с опытными аддуктами КТСМА. Установлено, что при использовании шихты 17,6 эластомерные композиции практически со всеми канифолесодержащими продуктами несколько уступают по конфекционной клейкости смесям с шихтой 1,6. Повышение содержания наночастиц в составе эластомерных композиций, по-видимому, влияет на подвижность молекулярных цепей полимера, а следовательно, и на характер их взаимной диффузии через межфазную поверхность раздела двух контактирующих образцов смесей. При этом структура КТСМА также оказывает некоторое влияние на конфекционную клейкость наполненных резиновых смесей в процессе их длительного хранения, что может быть обусловлено степенью растворимости вводимых аддуктов в эластомерной матрице, а также пространственным фактором вследствие наличия объемных структурных фрагментов в составе КТСМА.

Прочность является одной из основных характеристик конструкционных материалов, которая определяет сопротивление материала разрушению под действием механических нагрузок. На прочность резин существенное влияние оказывают тип и микроструктура каучука, тип вулканизирующей системы и характер образующихся при вулканизации структур, концентрация и морфологические характеристики наполнителей, пластификаторов, модификаторов, условий испытания и др. [15]. Определение условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве, а также обработку результатов испытаний проводили в соответствии с ГОСТ 270–75. Результаты

исследований упругопрочностных показателей резин, содержащих опытные аддукты и наноразмерные модификаторы, представлены в табл. 3.

Таблица 3  
Упругопрочностные показатели резин

Добавка	Дозировка шихты, мас. ч.	$f_{\epsilon}$ , МПа	$f$ , МПа	$\epsilon$ , %
Шихта 1,6				
Канифоль	0	5,4	18,8	730
	0,1	4,7	17,9	670
	0,2	4,8	18,2	625
КТСМА 95 : 5	0	4,2	16,3	700
	0,1	3,9	16,6	755
	0,2	4,0	17,5	640
КТСМА 80 : 20	0	4,4	16,2	640
	0,1	3,0	14,9	765
	0,2	3,5	16,7	665
Шихта 17,6				
Канифоль	0	5,4	18,8	730
	0,1	3,2	15,6	800
	0,2	3,4	17,0	710
КТСМА 95 : 5	0	4,2	16,3	700
	0,1	3,4	16,9	835
	0,2	3,8	16,8	710
КТСМА 80 : 20	–	4,4	16,2	640
	0,1	3,4	18,2	780
	0,2	3,7	15,8	755

Примечание.  $f_{\epsilon}$  – условное напряжение при удлинении 300%, МПа;  $f$  – условная прочность при растяжении, МПа;  $\epsilon$  – относительное удлинение при разрыве, %.

Установлено, что введение шихты 1,6 в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. в эластомерные композиции с канифолью приводит к снижению условного напряжения при 300%-м удлинении (модуля 300%) резин до 13,0% по сравнению с резинами без нанодобавки. При этом значение условной прочности при растяжении исследуемых резин изменяется до 4,8% в зависимости от содержания модификатора. Однако с увеличением дозировки шихты происходит падение относительного удлинения при разрыве: для образца без шихты значение показателя составляет 730%, для образца с шихтой 1,6 в дозировке 0,1 мас. ч. – 670%, а для вулканизата с шихтой в дозировке 0,2 мас. ч. – 625%. Определено, что использование шихты 17,6 в резиновых смесях с канифолью значительно снижает модуль 300% резин по сравнению с введением шихты с меньшим содержанием наночастиц. В данном случае для резин с шихтой 17,6 происходит падение показателя на 37,0–40,7%. Кроме того, выявлено снижение на 17,0% условной прочности при растяжении резин, содержащих канифоль и шихту 17,6 в дозировке 0,1 мас. ч., а для образцов с нанодобавкой в дозировке 0,2 мас. ч. показатель уменьшается на 9,6%. Причем относительное

удлинение при разрыве исследуемых резин находится на уровне образца без наноматериала.

Сопоставительный анализ данных показал, что резины, содержащие опытные аддукты и нанодобавки, в целом характеризуются более низкими прочностными показателями по сравнению с образцами, содержащими только канифоль. При этом эластические показатели для большинства исследуемых резин находятся на уровне образца сравнения.

Выявлено, что введение шихты 1,6 во всех исследуемых дозировках практически не влияет на упругопрочностные показатели резин с КТСМА 95 : 5 (изменение всех показателей находится в пределах 8%) по сравнению с образцом с указанным аддуктом и не содержащим шихту. Для эластомерных композиций с КТСМА 95 : 5 и шихтой 17,6 определено уменьшение модуля 300% до 19,0% при сохранении прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве на уровне образца с КТСМА 95 : 5 и без шихты. Необходимо отметить улучшение эластических показателей резин, содержащих КТСМА 95 : 5 и шихту 17,6 в дозировке 0,1 мас. ч. В данном случае относительное удлинение резин повышается до 835%.

Для эластомерных композиций с КТСМА 80 : 20 показано снижение модуля 300% на 31,8 и 20,5% при использовании шихты 1,6 соответственно в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. по сравнению с образцом без наноматериала. При этом условная прочность при растяжении практически не меняется, отмечено небольшое снижение показателя (до 8,0%) при дозировке шихты, равной 0,1 мас. ч. Установлено схожее изменение упругопрочностных свойств при применении шихты 17,6 в композициях с КТСМА 80 : 20. С увеличением дозировки шихты 17,6 условное напряжение при 300%-м удлинении резин с КТСМА 80 : 20 снижается от 22,7 до 15,9%. При этом для резины с шихтой 17,6 в дозировке 0,1 мас. ч. определено увеличение на 12,3% прочности при растяжении по сравнению с образцом без нанодобавки. Необходимо подчеркнуть также некоторое повышение относительного удлинения резин, содержащих КТСМА 80 : 20, при введении шихты с меньшим и большим содержанием наночастиц по сравнению с образцом без наноматериала.

Таким образом, установлено, что резины, содержащие канифолесодержащие добавки (КТСМА и канифоль) и наношихты, в целом характеризуются более низкими прочностными показателями по сравнению с образцом сравнения. Определено, что введение наномодификаторов обоих типов в наименьшей степени (изменение показателей не превышает 8%) оказывает влияние на упругопрочностные характеристики резин с КТСМА 95 : 5 по сравнению с образцами с указанным аддуктом

и без нанодобавок, за исключением применения шихты 17,6 в дозировке 0,2 мас. ч. В то же время обнаружено, что по значениям модуля 300% резины с КТСМА 80 : 20 и исследуемыми типами нанодобавок существенно уступают образцам без них, а по эластическим показателям для определенных типов шихты выявлено превосходство. Установленный характер изменения упругопрочностных показателей свидетельствует о влиянии исследуемых наноматериалов на формирование пространственной структуры в процессе вулканизации.

**Заключение.** Определены особенности влияния новых лесохимических продуктов на основе канифолетерпеностирольноmaleиновых аддуктов и образцов модифицированной алмазосодержащей шихты на адгезионные и упругопрочностные характеристики наполненных эластомерных композиций на основе каучуков общего назначения.

Выявлено, что применение во всех дозировках шихты с меньшим и в дозировке 0,2 мас. ч. шихты с бóльшим содержанием наночастиц приводит к увеличению конфекционной клейкости до 29,9% и ее сохранению в течение 7 сут для эластомерных композиций как с канифолью, так и опытными аддуктами. Улучшение конфекционных свойств позволит увеличить сроки хранения эластомерных композиций и обеспечить монолитность при сборке многослойных резиновых изделий. При этом состав канифолетерпеностирольноmaleиновых аддуктов не оказывает существенного влияния на клейкость исследуемых композиций. Такой характер изменения склеивающей способности эла-

стомерных композиций в присутствии канифолесодержащих и наноразмерных добавок можно объяснить влиянием последних на уровень межфазного взаимодействия на границе контакта образцов резиновых смесей. По-видимому, нанодобавки участвуют в регулировании доли адгезионно-активных центров на поверхности эластомерной матрицы, обеспечивающих аутоадгезионные связи.

Определено, что применение алмазосодержащей шихты в эластомерных композициях с канифолесодержащими добавками приводит к некоторому снижению их прочностных характеристик. Наибольшее влияние нанодобавок выявлено для показателя условного напряжения при 300%-м удлинении исследуемых резин. При этом относительное удлинение при разрыве для резин, содержащих канифоль или КТСМА и шихту различных типов, характеризуется близкими значениями с данным показателем образца сравнения. В данном случае изменение упругопрочностных свойств резин может быть связано с взаимодействием исследуемых наноматериалов с вулканизирующей группой эластомерной композиции и их влиянием на плотность образующейся пространственной сетки и природу поперечных связей.

Работа выполнялась по заданию Государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», подпрограммы «Создание новых наукоемких отечественных материалов различного функционального назначения на основе лесохимического и растительного сырья».

#### Список литературы

1. Донцов А. А., Канаузова А. А., Литвинова Т. В. Каучук-олигомерные композиции в производстве резиновых изделий. М.: Химия, 1986. 216 с.
2. Гришин Б. С. Материалы резиновой промышленности. В 2 ч. Казань: КГТУ, 2010. Ч. 1. 506 с.
3. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. М.: Машиностроение, 2008. 383 с.
4. Корнев А. Е., Буканов А. М., Шевердяев О. Н. Технология эластомерных материалов. М.: Истерик, 2009. 504 с.
5. Получение, изучение состава и свойств канифолетерпеностирольноmaleиновых смол / А. Ю. Клюев [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 2. С. 5–12.
6. Шашок Ж. С., Прокопчук Н. Р. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях. Минск: БГТУ, 2014. 232 с.
7. Гончаров В. М., Ершов Д. В. О возможности применения нанодисперсных наполнителей различной природы в эластомерных композициях // Каучук и резина. 2007. № 1. С. 16–19.
8. Elastomeric composites based on carbon nanomaterials / S. Araby [et al.] // Nanotechnology. 2015. Vol. 26, no. 11. P. 3–33.
9. Bokobza L. Mechanical and Electrical Properties of Elastomer Nanocomposites Based on Different Carbon Nanomaterials // J. of Carbon Research. 2017. Vol. 3, no. 2. P. 10–31.
10. Thomas S., Maria H. J. Progress in Rubber Nanocomposites. Elsevier: Woodhead Publishing, 2016. 596 p.
11. Получение и применение maleиновых аддуктов на основе терпентина / А. Ю. Клюев [и др.] // Полимерные материалы и технологии. 2018. Т. 4, № 1. С. 75–81.
12. Пластоэластические и адгезионные свойства наполненных резиновых смесей с канифолесодержащими добавками / Е. П. Усс [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2022. № 1. С. 20–26.

13. Awaja F. Autohesion of polymers // *Polymer*. 2016. Vol. 97. P. 387–407.
14. Дик Дж. Технология резины: рецептуростроение и испытания / под ред. Дж. Дика; пер. с англ. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
15. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.

### References

1. Dontsov A. A., Kanauzova A. A., Litvinova T. V. *Kauchuk-oligomernyye kompozitsii v proizvodstve rezinovykh izdeliy* [Rubber-oligomeric compositions in the production of rubber products]. Moscow, Khimiya Publ., 1986. 216 p. (In Russian).
2. Grishin B. S. *Materialy rezinovoy promyshlennosti. V 2 chastyakh. Chast' 1* [Materials of the rubber industry]. Kazan, KGTU Publ., 2010. Part 1. 506 p. (In Russian).
3. Pichugin A. M. *Materialovedcheskiye aspekty sozdaniya shinnykh rezin* [Material science aspects of creation of tire rubber]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2008. 383 p. (In Russian).
4. Kornev A. E., Bukanov A. M., Sheverdyayev O. N. *Tekhnologiya elastomernykh materialov* [Technology elastomeric materials]. Moscow, Isterik Publ., 2009. 504 p. (In Russian).
5. Klyuev A. Yu., Prokopchuk N. R., Latyshevich I. A., Gapankova E. I., Skakovsky E. D., Tychinskaya L. Yu., Lysenko G. N., Ogorodnikova M. M. Preparation, study of the composition and properties of rosin-terpene-styrene-maleic resins. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geocology, 2020, no. 2, pp. 5–12 (In Russian).
6. Shashok Zh. S., Prokopchuk N. R. *Primeneniye uglerodnykh nanomaterialov v polimernykh kompozitsiyakh* [Application of carbon nanomaterials in polymer compositions]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 232 p. (In Russian).
7. Goncharov V. M., Yershov D. V. On the possibility of using nanodispersed fillers of various nature in elastomer compositions. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2007, no. 1, pp. 16–19 (In Russian).
8. Araby S., Meng Q., Zhang L., Zaman I., Majewski P., Ma J. Elastomeric composites based on carbon nanomaterials. *Nanotechnology*, 2015, vol. 26, no. 11, pp. 3–33.
9. Bokobza L. Mechanical and Electrical Properties of Elastomer Nanocomposites Based on Different Carbon Nanomaterials. *J. of Carbon Research*, 2017, vol. 3, no. 2, pp. 10–31.
10. Thomas S., Maria H. J. *Progress in Rubber Nanocomposites*. Elsevier, Woodhead Publishing, 2016. 596 p.
11. Klyuev A. Yu., Prokopchuk N. R., Latyshevich I. A., Gapankova E. I., Kozlov N. G. Preparation and application of maleic adducts based on turpentine. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2018, vol. 4, no. 1, pp. 75–81 (In Russian).
12. Uss E. P., Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S., Vishnevskiy K. V., Klyuev A. Yu. Plastoelastic and adhesive properties of filled rubber compounds with rosin-containing additives. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geocology, 2022, no. 1, pp. 20–26 (In Russian).
13. Awaja F. Autohesion of polymers. *Polymer*, 2016, vol. 97, pp. 387–407.
14. Дик Дж. *Tekhnologiya reziny: retsepturostroyeniye i ispytaniya* [Rubber Technology: Compounding and Testing for Performance]. St. Petersburg, Nauchnyye osnovy i tekhnologii Publ., 2010. 620 p. (In Russian).
15. Zhovner N. A., Chirkova N. V., Khlebov G. A. *Struktura i svoystva materialov na osnove elastomerov* [Structure and properties of materials based on elastomers]. Omsk, Filial RosZITLP Publ., 2003. 276 p. (In Russian).

### Информация об авторах

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

**Прокопчук Николай Романович** – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [nrprok@gmail.com](mailto:nrprok@gmail.com)

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

**Кротова Ольга Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [o.krotova@belstu.by](mailto:o.krotova@belstu.by)

**Клюев Андрей Юрьевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: andrey\_kluev\_bstu@mail.ru

#### **Information about the authors**

**Uss Elena Petrovna** – 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: uss@belstu.by

**Prokopchuk Nikolay Romanovich** – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nrprok@gmail.com

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

**Krotova Olga Aleksandrovna** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.krotova@belstu.by

**Klyuev Andrey Yur'yevich** – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Woodworking Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andrey\_kluev\_bstu@mail.ru

*Поступила 03.03.2023*