

УДК 678.046

Е. П. Усс, Н. Р. Прокопчук, Ж. С. Шашок, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. Ю. Клюев
Белорусский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ КАНИФОЛЕСОДЕРЖАЩИХ И НАНОРАЗМЕРНЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Исследовано влияние природы канифолетерпеностирольномалеиновых аддуктов в присутствии наноразмерных модификаторов на технологические и технические свойства наполненных эластомерных композиций. Объектом исследования являлись шинные резиновые смеси на основе комбинации синтетических каучуков. В данные смеси вводили канифолетерпеностирольномалеиновые аддукты, полученные путем термообработки реакционной смеси терпентин / стирол в соотношениях 95 : 5 и 80 : 20 малеиновым ангидридом при содержании последнего 46 и 55 мас. % соответственно. Для сравнения использовали резиновую смесь, содержащую канифоль сосновую. Дозировки исследуемых аддуктов и канифоли в резиновой смеси составляли 1,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В качестве нанодобавки применяли ультрадисперсный синтетический алмаз марки УДА СП производства НП ЗАО «Синта», который вводили в смеси в дозировке 0,1 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. Определено, что равнозначная замена канифоли на опытные аддукты в присутствии наномодификатора позволяет обеспечить удовлетворительные вулканизационные свойства исследуемых резиновых смесей при увеличении их конфекционной клейкости, что позволит регулировать количество межфазных связей на границе контакта склеиваемых материалов и улучшать монолитность при сборке многослойных изделий. Установлено снижение показателя условного напряжения при 300%-м удлинении резин с исследуемыми аддуктами и нанодобавкой марки УДА СП или без последнего, что может быть связано с особенностями формирования пространственной сетки поперечных связей. При этом значения условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве до и после теплового старения для резин с аддуктом и наномодификатором находятся на уровне образца сравнения.

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

Для цитирования: Усс Е. П., Прокопчук Н. Р., Шашок Ж. С., Кротова О. А., Лешкевич А. В., Клюев А. Ю. Влияние канифолесодержащих и наноразмерных добавок на свойства эластомерных композиций // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2025. № 2 (295). С. 128–134.

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-16.

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

INFLUENCE OF ROSIN-CONTAINING AND NANO-SIZED ADDITIVES ON PROPERTIES OF ELASTOMER COMPOSITIONS

The effect of the nature of rosin terpene-styrene-maleic adducts in the presence of nanosized modifiers on the technological and technical properties of filled elastomer compositions was investigated. The object of the study was tire rubber compounds based on a combination of synthetic rubbers. Rosin terpene-styrene-maleic adducts obtained by heat treatment of the reaction mixture of turpentine / styrene in ratios of 95 : 5 and 80 : 20 with maleic anhydride at a content of the latter of 46 and 55 wt. %, respectively, were introduced into these mixtures. A rubber compound containing pine rosin was used for comparison. The dosages of the studied adducts and rosin in the rubber compound were 1.0 phr. Ultra-dispersed synthetic diamond of the UDA SP brand, produced by NP ZAO Sinta, was used as a nano-additive; it was introduced into the mixtures at a dosage of 0.1 phr. It was determined that equivalent replacement of rosin with experimental adducts in the presence of a nanomodifier allows to provide satisfactory vulcanization properties of the studied rubber mixtures with an increase in their confection tackiness, which will allow to regulate the number of interphase bonds at the contact boundary of the glued materials and improve the solidity during assembly of multilayer products. A decrease in the conventional stress at 300% elongation of rubbers with the studied adducts and the UDA SP nanoadditive or without the latter was established, which may be due to the features of the formation of the spatial network of cross-links. At the same time, the values of conventional tensile strength and relative elongation at break before and after thermal aging for rubbers with an adduct and a nanomodifier are at the level of the comparison sample.

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

For citation: Uss E. P., Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S., Krotova O. A., Leshkevich A. V., Klyuev A. Yu. Influence of rosin-containing and nano-sized additives on the properties of elastomer compositions. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2025, no. 2 (295), pp. 128–134 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-16.

Введение. При изготовлении многослойных резиновых изделий необходимо обеспечить соединение разнородных материалов в единое целое. Свойства таких изделий в значительной степени определяются адгезионными и когезионными свойствами материалов, из которых они производятся [1]. В связи с этим конфекционная клейкость невулканизированных резиновых смесей в резиновой промышленности является одним из важнейших технологических свойств, требуемых при изготовлении сложных по конструкции резиновых изделий, состоящих из нескольких деталей [2–5].

Для обеспечения высокой клейкости резиновых заготовок необходимо соблюдение трех основных критериев [3, 4]. Во-первых, установление молекулярного контакта склеиваемых поверхностей резиновых смесей в пределах нескольких ангстрем, что требует вязкого течения материала вблизи границы контакта. Во-вторых, после достижения молекулярного контакта полимерные цепи с каждой поверхности должны относительно легко взаимно диффундировать через межфазную границу и спутываться друг с другом. Эти два процесса приводят к образованию межфазных связей и происходят при относительно низкой деформации. В-третьих, образовавшиеся связи должны выдерживать достаточно большие напряжения, но при этом сила сцепления контактирующих поверхностей должна быть меньше когезионной прочности резиновой смеси [3, 4].

Для придания требуемой технологической клейкости резиновым полуфабрикатам и монолитности многослойным резиновым изделиям используют повысители клейкости, которые представляют собой олигомерные углеводородные соединения с молекулярной массой 300–2000 [3, 5, 6]. Обычно эти продукты имеют определенную температуру размягчения (50–120°C), помимо температуры стеклования (40–50°C) [3, 4, 6, 7]. Дозировка повысителей в резиновых смесях, как правило, относительно низкая и не превышает 10 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Эффективность повысителей клейкости зависит от их совместимости с каучуком и другими ингредиентами резиновой смеси, концентрации повысителей и т. д. [2, 6, 8]. Применяемые в настоящее время повысители клейкости делятся на две группы: природные и синтетические. Лесохимические продукты, такие как ка-

нифоль, терпены и их производные, относятся к природным повысителям и широко используются в эластомерных материалах для регулирования их клейкости и пластоэластических свойств [2, 6, 9]. Поиск новых высокоэффективных заменителей продуктов лесохимических производств является актуальным направлением научных исследований, позволяющим расширить ассортимент применяемых в настоящее время повысителей клейкости и обеспечить требуемый уровень пластоэластических и адгезионных свойств эластомерных материалов.

Наноматериалы активно внедряются в резиновую промышленность благодаря уникальному воздействию на структуру и свойства резин [10–13]. В данной работе оценивалось влияние новых заменителей канифоли при дополнительном использовании высокодисперсных добавок на изменение основных показателей свойств эластомерных композиций.

Основная часть. Целью работы являлось исследование влияния продуктов на основе лесохимического сырья в присутствии наномодификаторов на технологические и технические характеристики эластомерных композиций.

В качестве объекта исследования использовались наполненные эластомерные композиции на основе комбинации синтетических каучуков, предназначенные для изготовления детали шины. В данных композициях не применялись промышленные пластифицирующие и адгезионные добавки.

В исследуемые резиновые смеси вводили канифолетерпеностирольномалеиновые аддукты (КТСМА) с различными физико-химическими характеристиками. Опытные добавки получали высокотемпературной обработкой реакционной смеси терпентина и стирола, выбранных в соотношениях 95 : 5 и 80 : 20, малеиновым ангидридом (46 и 55 мас. % соответственно). Для синтеза аддуктов использовался терпентин, произведенный на ОАО «Лесохимик» (г. Борисов, Республика Беларусь). Полученные продукты представляют собой многокомпонентные составы (рис. 1) [14].

Опытные аддукты КТСМА вводились в исследуемые эластомерные композиции в дозировке 1 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Образцом сравнения являлась композиция с промышленным повысителем клейкости – канифолью сосновой, которая применялась в равнозначной дозировке с

КТСМА. Физико-химические характеристики опытных аддуктов [14] и канифоли приведены в табл. 1.

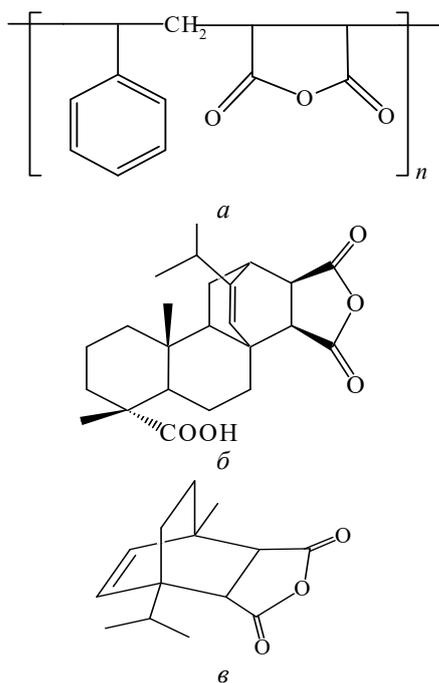


Рис. 1. Структурные формулы предполагаемых компонентов КТСМА:

a – стиромаль; *б* – малеопимаровая кислота;
в – аддукт α -терпинена и малеинового ангидрида

Таблица 1

Характеристики канифолесодержащих добавок

Наименование добавки	Кислотное число, мг КОН/г	Температура размягчения, °С
КТСМА 95 : 5	276	84
КТСМА 80 : 20	288	93
Канифоль	168	68

В качестве наноразмерного компонента применяли ультрадисперсный синтетический алмаз УДА СП (ТУ РБ 28619110.001-95) производства НП ЗАО «Синта» (г. Минск, Республика Беларусь). Нанодобавку вводили в состав наполненных эластомерных композиций в дозировке 0,1 мас. ч. на 100,00 мас. ч. каучука. Характеристика углеродного наноматериала представлена в табл. 2.

Исследование кинетических параметров вулканизации эластомерных композиций проводили при температуре испытания (143 ± 1)°С на реометре ODR 2000 фирмы Alpha Technologies по ГОСТ 12535–84 [15]. Определение конфекционной клейкости исследуемых резиновых смесей осуществлялось с помощью прибора Tel-Tak клейкометр [16]. Оценку влияния добавок на степень сохранения конфекционных свойств резиновых смесей выполняли после их хранения в течение 3 сут. Упруго-прочностные показатели резин

при растяжении определяли на разрывной машине Тензометр Т 220 DC фирмы Alpha Technologies по ГОСТ 270–75 [17]. Стойкость образцов к термическому старению в воздушной среде оценивали по изменению относительного удлинения при разрыве и условной прочности при растяжении после выдержки их в термостате при температуре 100 ± 1 °С и продолжительности 72 \pm 1 ч. Испытание проводили по ГОСТ 9.024–74 [18].

Таблица 2

Характеристики углеродных наноматериалов

Наименование показателя	УДА СП
Метод получения	Химическая очистка АШ-В
Внешний вид	Серый порошок
Размер и форма	Полидисперсные порошки: 30; 40; 90; 100; 700; 900 нм со сферическими частицами
Размер единичного кристалла, нм	4–6
Окисляемые формы углерода, %	1,2
Удельная поверхность, м ² /г	295
Объем пор, см ³ /г	0,84
Функциональные поверхностные группы	COOH, COOR, CH _x , C–N, C=N, COO, OH, CO

Результаты исследований кинетических параметров вулканизации резиновых смесей представлены в табл. 3.

Таблица 3

Кинетические параметры вулканизации исследуемых резиновых смесей

Канифолесодержащая добавка	Нанодобавка	M_L , дН·м	M_H , дН·м	t_{s2} , мин	t_{90} , мин
Канифоль	–	7,21	42,92	8,66	18,08
	УДА СП	7,84	44,77	8,18	18,20
КТСМА 95 : 5	–	7,57	42,90	8,01	18,74
	УДА СП	7,58	43,47	7,48	19,05
КТСМА 80 : 20	–	7,85	43,61	8,04	18,92
	УДА СП	7,47	41,85	8,45	18,97

Примечание. M_L – минимальный крутящий момент, дН·м; M_H – максимальный крутящий момент, дН·м; t_{s2} – время, необходимое для увеличения минимального крутящего момента на 2 ед., мин; t_{90} – время достижения оптимальной степени вулканизации, мин.

Из полученных данных видно, что резиновая смесь, содержащая канифоль, характеризуется наименьшим значением минимального крутящего момента, равным 7,21 дН·м. В то же время для смесей, содержащих опытные аддукты, значения данного показателя находятся в пределах $7,57 \leq M_L \leq 7,85$ дН·м, что может быть обусловлено компонентным составом КТСМА.

При введении нанодобавки УДА СП показатель минимального крутящего момента исследуемых смесей изменяется не более чем на 9% по сравнению с образцом с канифолью.

Установлено, что замена канифоли на аддукты КТСМА практически не оказывает влияния на жесткость исследуемых резин. В данном случае изменение значений максимального крутящего момента резин с опытными заменителями канифоли не превышало 2%. Схожая зависимость определена и при введении углеродного наноматериала в резиновые смеси с канифолесодержащими добавками (показатель M_H варьировался до 4,3%).

Использование опытных аддуктов КТСМА в дозировке 1 мас. ч. в исследуемых резиновых смесях на основе комбинации каучуков общего назначения приводит к некоторому снижению стойкости к подвулканизации (до 7,5%) по сравнению с образцом смеси, содержащим канифоль. Определено, что введение в состав смесей нанодобавки УДА СП несколько сокращает время начала вулканизации. Так, значения времени увеличения минимального крутящего момента на 2,0 ед. для смесей с канифолесодержащими добавками равны 8,01–8,66 мин, а для смесей с повысителями клейкости и наноматериалом – $7,48 \leq t_{s2} \leq 8,45$ мин. В то же время значения времени достижения оптимальной степени вулканизации для резиновых смесей с КТСМА ($18,74 \leq t_{90} \leq 18,92$ мин) практически такие же, как и у смеси с канифолью ($t_{90} = 18,08$ мин). Использование наномодификатора оказывает незначительное влияние на данный показатель эластомерных композиций.

Таким образом, результаты исследования кинетики вулканизации резиновых смесей показали, что характер изменения их вулканизационных параметров в некоторой степени определяется типом вводимой канифолесодержащей добавки, что, вероятно, обусловлено ее различным структурно-групповым составом, оказывающим влияние на образование действительного агента вулканизации и дальнейшее формирование поперечных связей вулканизата. Установлено, что введение углеродсодержащего наноматериала несколько влияет на взаимодействие с эластомерной матрицей и адсорбцией – десорбцией компонентов вулканизирующей группы.

Конфекционная клейкость резиновых смесей – один из важнейших технологических показателей, необходимых при сборке многослойных резиновых изделий. Метод определения клейкости смесей заключался в измерении условного напряжения, необходимого для разделения двух идентичных образцов резиновой смеси, при времени контакта 30 с, постоянных контактной нагрузке и скорости деформирования. На рис. 2 представлены результаты определения конфекционных свойств исследуемых резиновых смесей после их хранения в течение 3 сут.

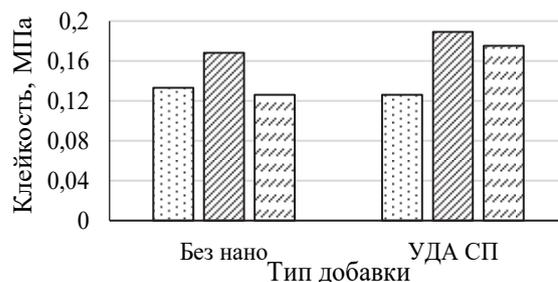


Рис. 2. Клейкость резиновых смесей, содержащих канифолесодержащие и наноразмерные добавки:
 ■ Канифоль ■ КТСМА 95 : 5 ■ КТСМА 80 : 20

Установлено, что в случае равнозначной замены канифоли на добавки КТСМА 95 : 5 и КТСМА 80 : 20 в исследуемых резиновых смесях склеивающая способность соответственно увеличивается на ~26% или сохраняется на уровне образца сравнения. Такой характер изменения конфекционной клейкости резиновых смесей в присутствии опытных аддуктов может быть связан с различием во влиянии составов КТСМА 95 : 5 и КТСМА 80 : 20 на подвижность полимерных цепей и их взаимодиффузию через поверхность раздела двух сдублированных смесей. При использовании нанодобавки УДА СП в резиновых смесях с исследуемыми аддуктами определено существенное повышение с 0,126 до 0,189 МПа их показателя клейкости по Tel-Tak, причем в большей степени (до 39%) при совместном использовании КТСМА 80 : 20 и ультрадисперсного алмаза. Введение УДА СП в композиции с канифолью практически не оказывает влияния на данный показатель. Таким образом, применение наноматериалов способствует повышению склеивающей способности резиновых смесей за счет активизации диффузии молекулярных цепей через межфазную границу с образованием межфазных связей.

Результаты исследований упруго-прочностных показателей резин представлены в табл. 4.

Таблица 4

Упруго-прочностные показатели резин

Канифолесодержащая добавка	Наноразмерная добавка	f_{ϵ} , МПа	f , МПа	ϵ , %
Канифоль	–	10,8	20,1	500
	УДА СП	9,8	20,3	530
КТСМА 95 : 5	–	9,5	19,1	505
	УДА СП	9,7	19,3	505
КТСМА 80 : 20	–	9,1	19,5	510
	УДА СП	8,9	19,3	520

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

Установлено, что равнозначная замена канифоли на КТСМА 95 : 5 или КТСМА 80 : 20

приводит к снижению условного напряжения при 300%-м удлинении. Так, значение данного показателя для образца с канифолью составляет 10,8 МПа, а для вулканизатов с аддуктами – $9,1 \leq f_e \leq 9,5$ МПа. При введении наномодификатора наибольшее уменьшение (на ~ 10%) модуля 300% выявлено для резин с канифолью. В то же время образцы, содержащие КТСМА 80 : 20 или данный аддукт и УДА СП, имеют более низкие значения (до 17,6%) напряжения при удлинении по сравнению с резиной с канифолью. Уменьшение модуля резин может быть связано с пространственной структурой образующейся вулканизационной сетки, непосредственно природой поперечных связей и густотой сетки. Определено, что условная прочность при растяжении резин с разными типами исследуемых канифолесодержащих добавок имеет схожие значения (изменение показателя не превышает 5%). Следует отметить, что использование наноматериала практически не влияет на показатель f исследуемых резин. Аналогичная тенденция выявлена и для такого показателя, как относительное удлинение при разрыве.

Изменение упруго-прочностных показателей наполненных резин после теплового старения при температуре $100 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 72 ± 1 ч приведено в табл. 5.

Таблица 5

Изменение упруго-прочностных показателей резин после теплового старения

Канифолесодержащая добавка	Наноразмерная добавка	Изменение показателя, %	
		f	ε
Канифоль	–	–10,0	–25,0
	УДА СП	–12,3	–29,2
КТСМА 95 : 5	–	–6,3	–27,7
	УДА СП	–13,0	–28,7
КТСМА 80 : 20	–	–15,4	–31,4
	УДА СП	–13,5	–30,8

Примечание. f – условная прочность при растяжении, МПа; ε – относительное удлинение при разрыве, %.

Из представленных данных видно, что использование аддуктов КТСМА взамен канифоли не приводит к существенному изменению стойкости резин к тепловому старению. Наибольшее отклонение

изменения упруго-прочностных показателей резин с опытными аддуктами от полученных значений для образца сравнения составило 6,4%. Схожая зависимость определена и при введении ультрадисперсного алмаза в исследуемые резиновые смеси.

Заключение. Установлена возможность применения канифолетерпеностирольноmaleиновых аддуктов в качестве повысителей клейкости резиновых смесей. Введение КТСМА 95 : 5 и КСТМА 80 : 20 в дозировке 1 мас. ч. взамен канифоли в равнозначной дозировке обеспечивает удовлетворительные вулканизационные свойства резиновых смесей при увеличении (до ~26%) или сохранении их конфекционной клейкости на уровне образца сравнения. Выявлено, что применение ультрадисперсного синтетического алмаза УДА СП способствует увеличению конфекционной клейкости до 39% для эластомерных композиций с опытными аддуктами, что, по-видимому, обусловлено влиянием наномодификатора на адгезионные взаимодействия контактирующих образцов. Улучшение склеивающей способности резиновых смесей за счет увеличения количества межфазных связей на границе контакта склеиваемых материалов позволит обеспечить монолитность при сборке многослойных резиновых изделий.

Определено, что вводимые аддукты приводят к снижению лишь показателя условного напряжения при 300%-м удлинении исследуемых резин, что может быть связано с особенностями формирования пространственной сетки поперечных связей. Установлен схожий с аддуктами характер влияния УДА СП на модуль резин, обусловленный, вероятно, адсорбцией компонентов вулканизирующей системы высокодисперсными частицами наноалмаза, что приводит к образованию менее плотной пространственной структуры. При этом значения условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве до и после теплового старения для резин с аддуктом и наномодификатором находятся на уровне образца с канифолью.

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. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.
2. Kumar K. D., Basak G. C., Bhowmick A. K. Adhesion Between Unvulcanized Elastomers: A Critical Review // Progress in Adhesion and Adhesives. 2018. P. 185–252.
3. Донцов А. А., Канаузова А. А., Литвинова Т. В. Каучук-олигомерные композиции в производстве резиновых изделий. М.: Химия, 1986. 216 с.
4. Named G. R. Tack and green strength of elastomeric materials // Rubber Chem. Technol. 1981. Vol. 54, no. 3. P. 576–595.

5. Гришин Б. С. Материалы резиновой промышленности: в 2 ч. Казань: КГТУ, 2010. Ч. 1. 506 с.
6. Effect of Different Tackifiers on Emulsion-Based Pressure-Sensitive Adhesive (PSA) / M. Baraghoosh [et al.] // *Prog. Color Colorants Coat.* 2022. No. 15. P. 295–303.
7. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. М.: Машиностроение, 2008. 383 с.
8. Kumar K. D., Tsou A. H., Bhowmick A. K. Facile onepot synthesis and characterization of maleated hydrocarbon resin tackifier for improved adhesion // *International J. of Adhesion and Adhesives*. 2010. Vol. 30, no. 4. P. 200–207.
9. Пучков А. Ф., Боброва И. И., Каблов В. Ф. Влияние модифицированной канифоли на свойства эластомерных композиций // *Известия ВолгГТУ*. 2014. № 7. С. 158–161.
10. Sahakaro K. Mechanism of reinforcement using nanofillers in rubber nanocomposites // *Progress in Rubber Nanocomposites*. 2017. P. 81–113.
11. Bokobza L. Natural Rubber Nanocomposites: A Review // *Nanomaterials*. 2019. Vol. 9, issue 1. Article 12.
12. Carbon nanotube filled rubber nanocomposites / K. C. Nimita [et al.] // *Frontiers in Carbon*. 2024. Vol. 3. Article 1339418.
13. Effect of carbon nanofillers on the properties of rubber composites with high levels of carbon black and silica / L. V. Cambraia [et al.] // *J. Appl Polym Sci.* 2025. Article 57183
14. Получение, изучение состава и свойств канифолетерпеностирольноmaleиновых смол / А. Ю. Ключев [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология*. 2020. № 2 (235). С. 5–12.
15. Смеси резиновые. Метод определения вулканизационных характеристик на вулканометре: ГОСТ 12535–84. М.: Изд-во стандартов, 1985. 16 с.
16. Дик Дж. Технология резины: рецептуростроение и испытания / под ред. Дж. Дика; пер. с англ. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
17. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении: ГОСТ 270–75. М.: Изд-во стандартов, 1975. 29 с.
18. Резины. Методы испытаний на стойкость к термическому старению: ГОСТ 9.024–74. М.: Изд-во стандартов, 1994. 11 с.

References

1. 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).
2. Kumar K. D., Basak G. C., Bhowmick A. K. Adhesion Between Unvulcanized Elastomers: A Critical Review. *Progress in Adhesion and Adhesives*. 2018, pp. 185–252.
3. 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).
4. Hamed G. R. Tack and green strength of elastomeric materials. *Rubber Chem. Technol.*, 1981, vol. 54, no. 3, pp. 576–595.
5. Grishin B. S. *Materialy rezinovoy promyshlennosti* [Materials of the rubber industry]. Kazan, KGTU Publ., 2010. Part 1. 506 p. (In Russian).
6. Baraghoosh M., Zohuri G. H., Behzadpour M., Gholami M., Hosseinpour P., Arabi S. M. Effect of Different Tackifiers on Emulsion-Based Pressure-Sensitive Adhesive (PSA). *Prog. Color Colorants Coat.*, 2022, no. 15, pp. 295–303.
7. Pichugin A. M. *Materialovedcheskiye aspekty sozdaniya shinnykh rezin* [Material science aspects of creation of tire rubber]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2008. 383 p. (In Russian).
8. Kumar K. D., Tsou A. H., Bhowmick A. K. Facile onepot synthesis and characterization of maleated hydrocarbon resin tackifier for improved adhesion. *International J. of Adhesion and Adhesives*, 2010, vol. 30, no. 4, pp. 200–207.
9. Puchkov A. F., Bobrova I. I., Kablov V. F. Influence of modified rosin on the properties of elastomer composites. *Izvestiya VolgGTU* [Bulletin of Volgograd State Technical University], 2014, no. 7, pp. 158–161 (In Russian).
10. Sahakaro K. Mechanism of reinforcement using nanofillers in rubber nanocomposites. *Progress in Rubber Nanocomposites*. 2017, pp. 81–113.
11. Bokobza L. Natural Rubber Nanocomposites: A Review. *Nanomaterials*, 2019, vol. 9, issue 1. Article 12.
12. Nimita K. C., Abraham J., Thomas M. G., Vahabi H., Maria H. J., Thomas S. Carbon nanotube filled rubber nanocomposites. *Frontiers in Carbon*, 2024, vol. 3. Article 1339418.
13. Cambraia L. V., Cotta T. A. B., Pereira G. C., Oliveira M. P., Palhares J. B., de Rezende D. B., Silva G. G., Nunes E. H. M. Effect of carbon nanofillers on the properties of rubber composites with high levels of carbon black and silica. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2025. Article 57183.

14. 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, Geoecology, 2020, no. 2, pp. 5–12 (In Russian).

15. GOST 12535–84. Rubber compounds. Method for determining vulcanization characteristics using a vulcanometer. Moscow, Standartinform Publ., 1985. 33 p. (In Russian).

16. Dik Dzh. S. *Tekhnologiya reziny: retsepturostroyeniye i ispytaniya* [Rubber technology: formulation development and testing]. St. Petersburg, NOT Publ., 2010. 620 p. (In Russian).

17. GOST 270–75. Rubber. Method for determining tensile elastic strength properties. Moscow, Standartinform Publ., 1975. 29 p. (In Russian).

18. GOST 9.024–74. Rubber. Method of heat ageing stability determination. Moscow, Standartinform Publ., 1994. 11 p. (In Russian).

Информация об авторах

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

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

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

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

Лешкевич Анастасия Владимировна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nastyonke@mail.ru

Клюев Андрей Юрьевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, 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), 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), Associate Professor, 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

Leshkevich Anastasiya Vladimirovna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nastyonke@mail.ru

Klyuev Andrey Yur'yevich – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Woodworking Production, Eco-House Building, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andrey_kluev_bstu@mail.ru

Поступила 27.05.2025