

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

### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С КАНИФОЛЕСОДЕРЖАЩИМИ И НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

Исследованы эксплуатационные свойства и структурные показатели пространственной сетки вулканизатов, содержащих новый заменитель канифоли и наноматериалы. В качестве объектов исследования применяли эластомерные композиции на основе комбинации синтетических полиизопренового и полибутадиенового каучуков. В данной работе использовался канифолетерпеностирольномалеиновый аддукт, полученный высокотемпературной обработкой смеси терпентина и стирола в соотношении 95 : 5 малеиновым ангидридом при содержании последнего 46 мас. %. Для сравнительного анализа применяли промышленный повыситель клейкости – канифоль сосновую. Дозировки опытного аддукта и образца сравнения в резиновой смеси составляли 2,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В качестве наноразмерных компонентов использовали нанодиазные модификаторы марок АШ-А и УДА СП производства НП ЗАО «Синта», которые вводились в смеси в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. Определено некоторое снижение модуля резин с исследуемым аддуктом и нанодобавкой марки АШ-А независимо от дозировки последнего. Установлено, что значения условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве для резин с аддуктом и нанодобавками находятся на уровне образцов с канифолью или с наноматериалами. Анализ динамических свойств резин в режиме знакопеременных деформаций и при повышенных температурах показал, что введение наномодификаторов марок АШ-А и УДА СП в композиции с опытным аддуктом или канифолью способствует увеличению их стойкости к разрастанию трещин при продольном изгибе более чем в 2,9 раза.

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

**Для цитирования:** Усс Е. П., Прокопчук Н. Р., Шашок Ж. С., Кротова О. А., Лешкевич А. В., Клюев А. Ю. Структура и свойства эластомерных композиций с канифолесодержащими и наноразмерными добавками // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 12–19.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-2.

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

### STRUCTURE AND PROPERTIES OF ELASTOMER COMPOUNDS WITH ROSIN-CONTAINING AND NANO-SIZED ADDITIVES

The performance properties and structural parameters of spatial network of vulcanizates containing a new rosin substitute and nanomaterials have been studied. The study objects were elastomer compositions based on a combination of synthetic polyisoprene and polybutadiene rubbers. The work used rosin-terpene-styrene-maleic adduct, obtained by high-temperature treatment of a mixture of turpentine and styrene in a ratio of 95 : 5 with maleic anhydride with content of 46 wt. %. For comparative analysis, an industrial softener was used – pine rosin. The dosages of the experimental adduct and the comparison sample in the rubber mixture were 2.0 phr. Nanodiamond modifiers of the АШ-А and УДА СП brands produced by JSC “Sinta” were used as nano-sized components, which were introduced into rubber mixture in dosages of 0.1 and 0.2 phr. A slight decrease in the modulus of rubbers with the studied adduct and nanoadditive АШ-А brand was determined, regardless of the dosage of the latter. It has been established that the values of conditional tensile strength and elongation at break rubbers with adduct for and nanocomponents are at the level of samples with rosin or with nanoadditives. An analysis of the dynamic properties of rubber in the regime of alternating deformations and at elevated temperatures showed that the introduction of nanomodifiers АШ-А and УДА СП brands into compositions with an experimental adduct helps to increase their resistance to crack propagation during longitudinal bending by more than 2.9 times.

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

**For citation:** Uss E. P., Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S., Krotova O. A., Leshkevich A. V., Klyuev A. Yu. Structure and properties of elastomer compounds with rosin-containing and nano-sized additives. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 2 (283), pp. 12–19 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-2.

**Введение.** Многие резиновые изделия, например автомобильные шины, транспортные ленты, приводные ремни, рукава и др., представляют собой сложные конфекционные виды продукции, состоящие из соединенных между собой отдельных невулканизированных заготовок. Для получения высококачества конечного многослойного изделия необходимо обеспечить достаточную прочность связи между его разнородными деталями. Для улучшения склеивающей способности полуфабрикатов в настоящее время применяют различные олигомерные, смолообразные продукты, так называемые повысители клейкости. В промышленности эластомерных материалов используют достаточно стабильный ассортимент повысителей клейкости, к которым относятся продукты, получаемые путем переработки нефти, каменного угля и древесины. Введение таких продуктов позволяет регулировать уровень конфекционных и пластоэластических свойств резиновых смесей, однако может приводить и к изменению механических свойств вулканизатов [1–7].

Уникальными материалами, позволяющими комплексно воздействовать на структуру и свойства эластомерных изделий при использовании в малых количествах, являются наноразмерные добавки [8–11].

В данной работе изучено влияние новых повысителей клейкости на основе лесохимического сырья в присутствии наномодификаторов на изменение деформационно-прочностных показателей резин при статическом и динамическом воздействии, определяющих прежде всего эксплуатационные характеристики резиновых изделий.

**Основная часть.** Целью работы являлось исследование влияния компонентного состава эластомерных композиций на их структуру и эксплуатационные свойства до и после воздействия агрессивных сред и температурно-силовых полей.

Объектом исследования являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации синтетических полиизопренового и полибутадиенового каучуков без применения промышленных пластифицирующих и адгезионных добавок. Примерный состав эластомерной композиции представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Примерный состав эластомерной композиции**

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

Канифолетерпеностирольномалеиновый аддукт получен высокотемпературной обработкой смеси терпентина и стирола в соотношении 95 : 5 малеиновым ангидридом при содержании последнего 46 мас. %. Для синтеза нового повысителя клейкости использовался терпентин, произведенный на ОАО «Лесохимик» (г. Борисов, Республика Беларусь).

Опытный аддукт представляет собой многокомпонентный сплав из малеопимаровой кислоты, аддуктов терпеновых углеводородов с малеиновым ангидридом, стирольномалеинового аддукта и смоляных кислот, не реагирующих с малеиновым ангидридом.

Образцом сравнения выступала эластомерная композиция, содержащая канифоль сосновую. Физико-химические характеристики опытного аддукта [12] и канифоли приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристики канифолесодержащих добавок**

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

Дозировка КТСМА и канифоли в исследуемых резиновых смесях составляла 2,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука.

В эластомерные композиции также вводились наноразмерные компоненты в виде образцов алмазосодержащей шихты марки АШ-А (ТУ РБ 100056180.003-2003) и ультрадисперсного синтетического алмаза УДА СП (ТУ РБ 28619110.001-95) производства НП ЗАО «Синта» (г. Минск, Республика Беларусь). Наномодификаторы вводили в состав наполненных эластомерных композиций в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. на 100,00 мас. ч. каучука. Характеристика углеродных наноматериалов приведена в табл. 3.

На прочность резин большое влияние оказывают химический состав и конфигурация макромолекул каучука, тип вулканизирующей системы и характер образующихся при вулканизации структур, концентрация и морфологические характеристики наполнителей, пластификаторов, модификаторов и другие факторы [13]. Оценку упругопрочностных показателей резин при растяжении проводили на разрывной машине Тензометр Т 220 DC фирмы Alpha Technologies по ГОСТ 270–75 [14]. Результаты исследований представлены в табл. 4.

Установлено, что введение наноматериалов АШ-А и УДА СП с увеличением их дозировки от 0,1 до 0,2 мас. ч. в эластомерные композиции без канифолесодержащих добавок приводит к некоторому снижению условного напряжения при 300%-ном

удлинении (модуля 300%) резин на 17,8%. При этом значения условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве исследуемых резин изменяются не более чем на 5,8% в зависимости от содержания модификатора.

Таблица 3

## Характеристики углеродных наноматериалов

Наименование показателя	АШ-А	УДА СП
Метод получения	Детонационный синтез	Химическая очистка АШ-В
Внешний вид	Черный порошок	Серый порошок
Размер и форма	Полидисперсный порошок (1–100 мкм) с неправильными частицами округлой формы	Полидисперсные порошки: 30; 40; 90; 100; 700; 900 нм со сферическими частицами
Размер единичного кристалла, нм	10	4–6
Окисляемые формы углерода, %	53,4	1,2
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	404	295
Объем пор, см <sup>3</sup> /г	1,245	0,84
Функциональные поверхностные группы	COOH, CH <sub>x</sub> , C <sub>6</sub> X <sub>x</sub>	COOH, COOR, CH <sub>x</sub> , C–N, C=N, COO, OH, CO

Таблица 4

## Упругопрочностные показатели резин

Наименование добавки	Дозировка нанодобавки, мас. ч.	$f_{\varepsilon}$ , МПа	$f$ , МПа	$\varepsilon$ , %
Алмазосодержащая шихта АШ-А				
Без канифольных добавок	0,1	9,0	20,8	600
	0,2	7,4	20,6	635
Канифоль	0	7,9	19,7	610
	0,1	8,6	20,8	580
	0,2	8,3	20,4	590
КТСМА 95 : 5	0	8,1	18,9	615
	0,1	7,7	19,3	605
	0,2	6,6	19,2	630
Ультрадисперсный алмаз УДА СП				
Без канифольных добавок	0,1	8,6	20,3	575
	0,2	7,6	20,0	590
Канифоль	0	7,9	19,7	610
	0,1	8,4	19,5	550
	0,2	8,1	20,0	585
КТСМА 95 : 5	0	8,1	18,9	615
	0,1	8,5	18,9	635
	0,2	8,1	19,0	630

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

Определено, что использование алмазосодержащей шихты АШ-А или ультрадисперсного алмаза УДА СП в резиновых смесях с канифолью практически не оказывает влияния на упругопрочностные характеристики резин по сравнению с вулканизатами, содержащими канифоль. Так, значения модуля 300% для резин с канифолью и добавками АШ-А или УДА СП составляют соответственно 8,3–8,6 и 8,1–8,4 МПа, а для резин с канифолью и без наноматериалов – 7,9 МПа. Аналогичная тенденция выявлена и для показателей прочности и эластичности исследуемых вулканизатов.

Результаты определения упругопрочностных показателей резин с КТСМА 95 : 5 и исследуемыми наномодификаторами показали несколько иную зависимость изменения данных параметров от типа и содержания нанодобавки. Установлено, что введение алмазосодержащей шихты АШ-А в исследуемых дозировках приводит к уменьшению условного напряжения при 300%-ном удлинении резин с аддуктом. При этом с увеличением дозировки шихты до 0,2 мас. ч. происходит уменьшение модуля на 18,5% по сравнению с образцом, содержащим лишь опытный аддукт. Обращает на себя внимание тот факт, что изменение значений условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве для резин с КТСМА и наношихтой не превышает 2,4% по сравнению с резиной с КТСМА 95 : 5. Для эластомерных композиций с КТСМА и ультрадисперсным алмазом УДА СП независимо от дозировки последнего существенного изменения упругопрочностных показателей также не выявлено.

На основании полученных результатов можно заключить, что введение исследуемых наномодификаторов в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков общего назначения СКИ-3 и СКД оказывает наибольшее влияние на значения модуля 300% резин. При этом показатели модуля 300% резин с аддуктом КТСМА 95 : 5 и алмазосодержащей шихтой АШ-А в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. характеризуются наименьшими значениями по сравнению с другими исследуемыми образцами. Установлено, что применение опытных лесохимических аддуктов и/или нанодобавок практически не оказывает влияние на условную прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве резин (изменение данных показателей не превышает 6%) по сравнению с образцом, содержащим канифоль. Исключение составляет использование канифоли и ультрадисперсного алмаза УДА СП в дозировке 0,1 мас. ч.: в данном случае изменение эластичности исследуемых вулканизатов находится в пределах 9,8%.

Динамическая усталость (или утомление) резин – процесс изменения свойств материала и его

структуры под воздействием многократных периодических нагрузок или деформаций. Утомление резин при циклическом нагружении является результатом сложного комплекса физических и химических процессов, активированных механическим напряжением [15]. Определение сопротивления резин разрастанию трещин при испытании на многократный изгиб проводили на образцах с проколом на машине De Mattia Flex Testing по ГОСТ 9983–74 [16] (метод Б). Испытания резин проводили при температуре  $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

В табл. 5 представлены результаты исследований динамических характеристик резин при многократном изгибе.

Таблица 5

**Сопротивление резин разрастанию трещин при многократном изгибе**

Наименование добавки	Дозировка нанодобавки, мас. ч.	Сопротивление разрастанию трещин, тыс. циклов
Алмазосодержащая шихта АШ-А		
Без канифолесодержащих добавок	0,1	7,8
	0,2	8,6
Канифоль	–	6,0
	0,1	6,3
КТСМА 95 : 5	0,2	5,5
	–	5,7
	0,1	22,7
	0,2	34,9
	Ультрадисперсный алмаз УДА СП	
Без канифолесодержащих добавок	0,1	11,0
	0,2	13,5
Канифоль	–	6,0
	0,1	9,0
КТСМА 95 : 5	0,2	13,0
	–	5,7
	0,1	39,6
	0,2	42,8

Из представленных данных видно, что в условиях воздействия многократных циклических деформаций резины, содержащие наноматериалы, характеризуются сопротивлением разрастанию трещин на уровне 7,8–13,5 тыс. циклов. Установлено, что с увеличением содержания наномодификаторов АШ-А и УДА СП в резиновых смесях происходит некоторое увеличение сопротивления исследуемых резин многократному изгибу. При этом наиболее высоким значением показателя сопротивления разрастанию трещин обладают резины с УДА СП. Так, для образцов с АШ-А в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. сопротивление разрастанию трещин составляет соответственно 7,8 и 8,6 тыс. циклов, в то же время для резин с УДА СП – соответственно 11,0 и 13,5 тыс. циклов.

Для эластомерных композиций с канифолью определена динамическая выносливость резин на уровне 6,0 тыс. циклов. Введение алмазосодержащей шихты независимо от ее дозировки в композиции с канифолью практически не влияет на динамические свойства при изгибе (изменение показателя не превышает 8,3%). Однако применение ультрадисперсного алмаза УДА СП и увеличение его содержания до 0,2 мас. ч. в композиции с канифолью приводит к росту сопротивления резин разрастанию трещин по сравнению с резиной, содержащей промышленный повыситель клейкости. В данном случае для резин с канифолью и УДА СП в дозировке 0,1 мас. ч. этот показатель составляет 9,0 тыс. циклов, а с УДА СП в дозировке 0,2 мас. ч. – 13,0 тыс. циклов.

Результаты исследований резин с опытным аддуктом выявили динамическую выносливость (5,7 тыс. циклов) на уровне образца с канифолью (6,0 тыс. циклов). Установлено, что введение исследуемых наномодификаторов способствует существенному увеличению стойкости вулканизатов к разрастанию трещин при продольном изгибе при действии повышенной температуры  $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Так, в случае резин с КТСМА и АШ-А определено повышение динамического показателя от 22,7 тыс. до 34,9 тыс. циклов при увеличении содержания нанодобавки от 0,1 до 0,2 мас. ч. Важно отметить, что введение ультрадисперсного синтетического алмаза в состав эластомерных композиций с КТСМА 95 : 5 приводит к более существенному увеличению сопротивления разрастанию трещин при изгибе (до 42,8 тыс. циклов) по сравнению с образцами, содержащими АШ-А и/или канифольные компоненты. При этом дозировка УДА СП незначительно (до 8%) влияет на динамический показатель резин.

Таким образом, полученные результаты по определению динамической выносливости в режиме знакопеременных деформаций и при повышенных температурах для эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения с канифолесодержащими и наноразмерными добавками свидетельствуют об участии данных добавок в процессе формирования вулканизационной сетки резин и их влиянии на тип образующихся поперечных связей. При этом повышение динамической усталости исследуемых резин может быть связано с получением такой их пространственной структуры, которая способна в условиях циклических деформаций при температуре  $70^\circ\text{C}$  к относительно быстрому перераспределению внутренних напряжений.

Для характеристики пространственной сетки вулканизатов часто используют показатели плотности поперечного сшивания  $\nu$  и среднюю молекулярную массу отрезка цепи, заключенного

между двумя поперечными связями,  $M_c$ . Для определения структурных показателей сетки поперечных связей исследуемых резин применяли метод равновесного набухания (растворитель – толуол). Расчет параметров пространственной сетки вулканизатов (табл. 6) проводили по уравнению Флори – Ренера [16].

Таблица 6

**Показатели пространственной структуры резин**

Наименование добавки	Дозировка нанодобавки, мас. ч.	$M_c$ , кг/моль	$n \cdot 10^{-19}$ , см <sup>-3</sup>	$\nu \cdot 10^4$ , моль/см <sup>3</sup>
Алмазосодержащая шихта АШ-А				
Без канифольных добавок	0,1	6306	8,7	1,75
	0,2	6529	8,4	1,69
Канифоль	0	6262	8,8	1,77
	0,1	6012	9,1	1,74
	0,2	6306	8,7	1,71
КТСМА 95 : 5	0	6337	8,6	1,75
	0,1	6479	8,6	1,73
	0,2	6624	8,3	1,67
Ультрадисперсный алмаз УДА СП				
Без канифольных добавок	0,1	6614	8,3	1,67
	0,2	6854	8,0	1,62
Канифоль	0	6262	8,8	1,77
	0,1	6097	9,0	1,82
	0,2	6211	8,8	1,78
КТСМА 95 : 5	–	6337	8,6	1,75
	0,1	6898	8,0	1,61
	0,2	7188	7,6	1,54

*Примечание.*  $M_c$  – средняя молекулярная масса отрезка молекулярной цепи, заключенного между двумя поперечными связями, кг/моль;  $n$  – количество поперечных связей в 1 см<sup>3</sup> вулканизата, см<sup>-3</sup>;  $\nu$  – плотность поперечного сшивания, моль/см<sup>3</sup>.

Анализ полученных данных показывает, что с увеличением дозировки наноразмерных добавок АШ-А и УДА от 0,1 до 0,2 мас. ч. в составе эластомерной композиции на основе комбинации каучуков общего назначения выявлено уменьшение их плотности вулканизационной сетки до 3,4%.

Определено, что равнозначная замена канифоли на КТСМА 95 : 5 не приводит к существенному изменению плотности сшивания резин. Так, для образцов с канифолью плотность сшивания равна  $1,77 \cdot 10^{-4}$  моль/см<sup>3</sup>, а для резин с опытным аддуктом показатель составляет  $1,75 \cdot 10^{-4}$  моль/см<sup>3</sup>. При введении наноразмерных добавок АШ-А и УДА в резиновую смесь с КТСМА густота вулканизационной сетки несколько уменьшается, причем в большей степени при введении УДА СП. Так, при введении нанодобавки АШ-А в дозировке 0,2 мас. ч. в резиновую смесь с КТСМА плотность сшивания

вулканизатов снижается до 4,5%, а при использовании добавки УДА СП в той же дозировке – до 12%. Схожая зависимость выявлена и при введении исследуемых нанодобавок в резиновые смеси с канифолью. Однако в данном случае изменение плотности сшивания резин с канифолью и наномодификаторами АШ-А или УДА СП не превышает 4%.

Таким образом, применение наноразмерных модификаторов в составе эластомерных композиций как с канифолесодержащими добавками, так и без них приводит к некоторому снижению густоты сетки вулканизатов. Такой характер изменения структурных показателей сетки поперечных связей резин может быть обусловлен адсорбцией компонентов вулканизирующей системы на поверхности наномодификаторов [17], что и способствует получению более редкой пространственной сетки.

**Заключение.** Установлены особенности влияния типа канифолесодержащих продуктов и наноразмерных материалов на структуру и механические характеристики при воздействии температурно-силовых полей для шинных эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения.

Выявлено, что применение наномодификаторов в эластомерных композициях на основе СКИ-3 + СКД оказывает наибольшее влияние на значения модуля 300% резин. Данный показатель для резин с КТСМА 95 : 5 и шихтой АШ-А во всех дозировках характеризуется наименьшими значениями по сравнению с другими исследуемыми образцами. Определено, что применение опытных аддуктов с нанодобавками или без них практически не влияет на прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве резин (изменение данных показателей не превышает 6%) по сравнению с образцом, содержащим канифоль.

Результаты исследований динамических свойств резин в режиме знакопеременных деформаций и при повышенных температурах показали, что введение наномодификаторов АШ-А и УДА СП в композиции с КТСМА 95 : 5 способствует увеличению их стойкости к разрастанию трещин при продольном изгибе более чем в 2,9 раза по сравнению с резинами, содержащими нанодобавки, и более чем в 4 раза по сравнению с образцом с КТСМА или канифолью. Установлено, что с увеличением содержания нанодобавок стойкость к разрастанию трещин для большинства образцов повышается.

Установленный характер изменения механических показателей резин при статическом и динамическом воздействии может быть связан с влиянием вводимых наномодификаторов на процесс образования поперечных сшивков между макромолекулами каучука, что подтверждается данными, полученными методом равновесного набухания. Выявлено, что при увеличении дозировки

наноматериала до 0,2 мас. ч. снижается до 12% плотность сшивания резин, содержащих или не содержащих канифольные продукты. Наибольшее уменьшение густоты сетки определено при использовании нанодобавки УДА СП. Такой характер изменения структуры эластомерных композиций обусловлен прежде всего адсорбцией вулканизирующих компонентов на поверхности наномодификаторов, приводящей к различию в плотности сшивания. Кроме того, нанодобавки могут оказывать влияние и на природу образующихся поперечных связей, непосредственно на степень их сульфидности. Таким образом, формирование

более редкой структуры с поперечными связями меньшей сульфидности позволяет, по-видимому, повысить стойкость исследуемых резин к динамическому нагружению в режиме знакопеременных деформаций и при повышенных температурах.

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

### Список литературы

1. Гришин Б. С. *Материалы резиновой промышленности: в 2 ч. Ч. 1.* Казань: КГТУ, 2010. 506 с.
2. Пичугин А. М. *Материаловедческие аспекты создания шинных резин.* М.: Машиностроение, 2008. 383 с.
3. Донцов А. А., Канаузова А. А., Литвинова Т. В. *Каучук-олигомерные композиции в производстве резиновых изделий.* М.: Химия, 1986. 216 с.
4. Mittal K. L. *Progress in Adhesion and Adhesives.* Wiley-Scrivener, 2018. 423 p. DOI: 10.1002/9781119162346.
5. Aubrey D. W. *The Nature and Action of Tackifier Resins // Rubber Chemistry and Technology.* 1988. Vol. 61. P. 448–469. DOI: 10.5254/1.3536196.
6. Stuck B. *Tackifying, Curing, and Reinforcing Resins.* Rubber Technology. München, Germany: C. H. Verlag GmbH & Co. KG, 2020. P. 641–651.
7. Indriasari, Noordermeer J., Dierkes W. *Incorporation of Oligomeric Hydrocarbon Resins for Improving the Properties of Aircraft Tire Retreads // Applied Sciences.* 2021. Vol. 11, no. 21. Article 9834. DOI: 10.3390/app11219834.
8. Шашок Ж. С., Прокопчук Н. Р. *Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях.* Минск: БГТУ, 2014. 232 с.
9. *Industrial Applications of Nanoparticles – A Prospective Overview / C. S. C. Santos [et al.] // Materials Today: Proceedings.* 2015. Vol. 2, no. 1. P. 456–465. DOI: 10.1016/j.matpr.2015.04.056.
10. *Advances in Elastomers II: Composites and Nanocomposites / P. M. Visakh [et al.].* Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013. 428 p.
11. *A Review Featuring Fabrication, Properties and Applications of Carbon Nano-tubes (CNTs) Reinforced Polymer and Epoxy Nanocomposites / S. Imtiaz [et al.] // Chinese Journal of Polymer Science.* 2018. Vol. 36, no. 4. P. 445–461. DOI: 10.1007/s10118-018-2045-7.
12. *Получение, изучение состава и свойств канифолетерпеностирольно-малеиновых смол / А. Ю. Ключев [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология.* 2020. № 2 (235). С. 5–12.
13. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. *Структура и свойства материалов на основе эластомеров.* Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.
14. *Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении: ГОСТ 270–75.* М.: Изд-во стандартов, 1975. 29 с.
15. *Резина. Методы испытаний на многократный продольный изгиб образцов с прямой канавкой: ГОСТ 9983–74 (СТ СЭВ 2709-80).* М.: Изд-во стандартов, 1974. 8 с.
16. Flory P. J., Rehner J. J. *Statistical Mechanics of Cross-Linked Polymer Networks II. Swelling // The Journal of Chemical Physics.* 1943. Vol. 11. P. 521–526. DOI: 10.1063/1.1723792.
17. Sui G., Zhong W. H., Yang X. P. *Curing kinetics and mechanical behavior of natural rubber reinforced with pretreated carbon nanotubes // Materials Science and Engineering: A.* 2008. Vol. 485, no. 1. P. 524–531. DOI: 10.1016/j.msea.2007.09.007.

### References

1. Grishin B. S. *Materialy rezinoy promyshlennosti. V 2 chastyakh. Chast' 1* [Materials of the rubber industry. Part 1]. Kazan, KGTU Publ., 2010. 506 p. (In Russian).
2. Pichugin A. M. *Materialovedcheskiye aspekty sozdaniya shinnykh rezin* [Material science aspects of creation of tire rubber]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2008. 383 p. (In Russian).

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. Mittal K. L. *Progress in Adhesion and Adhesives*. Wiley-Scrivener, 2018. 423 p. DOI: 10.1002/9781119162346.
5. Aubrey D. W. The Nature and Action of Tackifier Resins. *Rubber Chemistry and Technology*, 1988, vol. 61, pp. 448–469. DOI: 10.5254/1.3536196.
6. Stuck B. Tackifying, Curing, and Reinforcing Resins. Rubber Technology. München, Germany, C. H. Verlag GmbH & Co. KG, 2020. P. 641–651.
7. Indriasari, Noordermeer J., Dierkes W. Incorporation of Oligomeric Hydrocarbon Resins for Improving the Properties of Aircraft Tire Retreads. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, no. 21, article 9834. DOI: 10.3390/app11219834.
8. Shashok Zh. S., Prokopchuk N. R. *Primeneniye uglerodnykh nanomaterialov v polimernyykh kompozitsiyakh* [Application of carbon nanomaterials in polymer compositions]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 232 p. (In Russian).
9. Santos C. S. C., Gabriel B., Blanchy M., Menes O., García D., Blanco M., Arconada N., Neto V. Industrial Applications of Nanoparticles – A Prospective Overview. *Materialstoday: Proceedings*, 2015, vol. 2, no. 1, pp. 456–465. DOI: 10.1016/j.matpr.2015.04.056.
10. Visakh P. M., Thomas S., Chandra A. K., Mathew A. P. *Advances in Elastomers II: Composites and Nanocomposites*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013. 428 p.
11. Imtiaz S., Siddiq M., Kausar A., Muntha S. T. A Review Featuring Fabrication, Properties and Applications of Carbon Nano-tubes (CNTs) Reinforced Polymer and Epoxy Nanocomposites. *Chinese Journal of Polymer Science*, 2018, vol. 36, no. 4, pp. 445–461. DOI: 10.1007/s10118-018-2045-7.
12. 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).
13. GOST 270–75. Rubber. Method for determining tensile elastic strength properties. Moscow, Standartinform Publ., 1975. 29 p. (In Russian).
14. 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).
15. GOST 9983–74. Rubber. Test methods for repeated longitudinal bending of specimens with a straight groove. Moscow, Standartinform Publ., 1974. 8 p. (In Russian).
16. Flory P. J., Rehner J. J. Statistical Mechanics of Cross-Linked Polymer Networks II. Swelling. *The Journal of Chemical Physics*, 1943, vol. 11, pp. 521–526. DOI: 10.1063/1.1723792.
17. Sui G., Zhong W. H., Yang X. P. Curing kinetics and mechanical behavior of natural rubber reinforced with pretreated carbon nanotubes. *Materials Science and Engineering: A*, 2008, vol. 485, no. 1, pp. 524–531. DOI: 10.1016/j.msea.2007.09.007.

#### 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 Национальной академии наук 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, профессор, 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, 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)

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

**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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:nastyonke@mail.ru)

**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](mailto:andrey_kluev_bstu@mail.ru)

*Поступила 29.04.2024*