



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)  
УДК 678: 678.4

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.023



## ДИНАМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ПОЛИМЕРА, ПОЛУЧЕННЫХ ЖИДКОФАЗНЫМ СОВМЕЩЕНИЕМ ИХ ЛАТЕКСОВ

Акмырадов Ахмет<sup>1</sup>, Ибрагимов Марат Ансарович<sup>2</sup>,  
Рахматуллина Алевтина Петровна<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

<sup>1</sup> akmyradow\_2015@mail.ru

<sup>2</sup> ibragimovmarat2008@yandex.ru

<sup>3</sup> rah-al@yandex.ru

**Аннотация.** Наноматериалы привлекают большое внимание благодаря своим уникальным свойствам, таким как очень малый размер, большая площадь поверхности и поверхностная активность. Такие нанонаполнители используются в рецептурах резиновых смесей с целью улучшения физико-механических и динамических свойств вулканизатов.

Бутадиен-стирольный каучук (БСК) – коммерчески успешный синтетический эластомер с превосходной технологичностью и постоянным ростом спроса на него при разработке «зеленых» шин с хорошими динамическими и физико-механическими свойствами, низким сопротивлением качению и лучшим сцеплением с мокрой дорогой. Однако, БСК чувствителен к теплу, свету и кислороду из-за ненасыщенности молекулярной структуры. Следовательно, его механические свойства в процессе эксплуатации изделий на его основе ухудшаются и сокращается срок их службы. Использование нанонаполнителей, которые могут придать устойчивость к окислению и улучшить физико-механические и динамические свойства, представляет интерес как с научной, так и с практической точек зрения. В данной работе приведены результаты исследования динамических и физико-механических свойств наполненных резин на основе бутадиен-стирольного каучука СКС-30 АРКМ-15. Он модифицирован нанодисперсным функционализированным полимером (ФП), синтезированным из стирола, дивинилбензола и этиленгликольдиметакрилата. С целью равномерного диспергирования частиц ФП в каучуковой матрице использован способ жидкофазного совмещения их латексов. Методом динамического светорассеяния исследованы гранулометрические составы латексных частиц СКС-30 АРКМ-15, функционализированного полимера и их смесевых латексов. Поверхностное натяжение латексов определено методом отрыва кольца (метод Дю Нуи). Исследовано влияние содержания ФП на динамические и физико-механические свойства полученного армированного композита. В исследованиях использованы стандартные методы определения упруго-прочностных свойств резин. Изучены физико-механические свойства до и после термоокислительного старения при температуре 100°C в течение 24 ч резин на основе исходного каучука СКС-30 АРКМ-15 и его модифицированных образцов. Методом динамического термомеханического анализа определены их динамические свойства (модуль упругости и тангенс угла потерь). Композиты на основе каучуков, модифицированных функционализированным полимером в количестве 10 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука, характеризуются улучшенными динамическими и физико-механическими показателями. Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета.

**Ключевые слова:** Бутадиен-стирольный каучук, жидкофазная модификация, сшитый полимерный функционализированный нанонаполнитель, динамические и физико-механические свойства резин.

**Для цитирования:** Акмырадов А., Ибрагимов М. А., Рахматуллина А. П. Динамические и физико-механические свойства вулканизатов на основе смесей бутадиен-стирольного каучука и функционализированного полимера, полученных жидкофазным совмещением их латексов // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 153 – 159. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.023, EDN: <https://elibrary.ru/OSCXAZ>.

Original article

## DYNAMIC AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF VULCANIZATES BASED ON BLENDS OF BUTADIENE-STYRENE RUBBER AND FUNCTIONALIZED POLYMER OBTAINED BY LIQUID-PHASE COMBINATION OF THEIR LATEXES

Akmyradov Akhmet <sup>1</sup>, Ibragimov Marat Ansarovich <sup>2</sup>,  
Rakhmatullina Alevtina Petrovna <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

<sup>1</sup> akmyradow\_2015@mail.ru

<sup>2</sup> ibragimovmarat2008@yandex.ru

<sup>3</sup> rah-al@yandex.ru

**Abstract.** *Nanomaterials attract a lot of attention due to their unique properties, such as their very small size, large surface area and surface activity. Such nanofillers are used in formulations of rubber compounds in order to improve the physico-mechanical and dynamic properties of vulcanizates. Styrene butadiene rubber (BSC) is a commercially successful synthetic elastomer with excellent manufacturability and a constant increase in demand for it in the development of "green" tires with good dynamic and physico-mechanical properties, low rolling resistance and better grip on wet roads. However, BSC is sensitive to heat, light and oxygen due to the unsaturated molecular structure. Consequently, its mechanical properties deteriorate during the operation of products based on it and their service life is shortened. The use of nanofillers, which can give resistance to oxidation and improve physico-mechanical and dynamic properties, is of interest both from a scientific and practical point of view. This paper presents the results of a study of the dynamic and physico-mechanical properties of filled rubbers based on styrene-butadiene rubber SKS-30 ARKM-15. It is modified by a nanodisperse functionalized polymer (FP) synthesized from styrene, divinylbenzene and ethyleneglycoldimethacrylate. For the purpose of uniform dispersion of FP particles in a rubber matrix, a method of liquid-phase combination of their latexes was used. The granulometric compositions of latex particles SKS-30 ARKM-15, functionalized polymer and their mixed latex were studied by the method of dynamic light scattering. The surface tension of the latexes is determined by the ring separation method (Du Nouy method). The effect of the FP content on the dynamic and physico-mechanical properties of the resulting reinforced composite is investigated. The research uses standard methods for determining the elastic-strength properties of rubbers. The physico-mechanical properties of rubbers based on the initial rubber SKS-30 ARKM-15 and its modified samples were studied before and after thermo-oxidative aging at a temperature of 100 ° C for 24 hours. Their dynamic properties (modulus of elasticity and tangent of the loss angle) were determined by the method of dynamic thermomechanical analysis. Composites based on rubbers modified with a functionalized polymer in the amount of 10 wt.h. per 100 wt.h. of rubber are characterized by improved dynamic and physico-mechanical properties. The study was conducted using the equipment of the Center for Collective Use "Nanomaterials and Nanotechnology" of the Kazan National Research Technological University.*

**Keywords:** *Styrene-butadiene rubber, liquid-phase modification, cross-linked polymer functionalized nanofillers, dynamic and physico-mechanical properties of rubbers.*

**For citation:** Akmyradov A., Ibragimov M. A. & Rakhmatullina, A. P. (2024). Dynamic and physico-mechanical properties of vulcanizates based on blends of butadiene-styrene rubber and functionalized polymer obtained by liquid-phase combination of their latexes. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 153-159. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.023. EDN: <https://elibrary.ru/OSCXAZ>.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что резиновые изделия являются хорошими изоляционными и эластичными материалами благодаря своим стабильным физическим и химическим свойствам, но механические параметры должны быть усилены, чтобы дополнить эксплуатационные характеристики [1-3]. Армирование и модификация наполнителей является одной из важнейших технологий повышения механических и других свойств композитов на ос-

нове синтетических каучуков [4-7]. Диспергирование различных наполнителей в резиновой матрице позволяет получать требуемые физико-механические и другие ценные свойства вулканизатов каучуков и имеет большое значение для применения конструкционных резиновых материалов [8, 9]. Композит бутадиен-стирольного каучука (БСК) эмульсионной полимеризации, являющийся одним из самых высокопроизводительных синтетических каучуков, широко применяется в производстве шин, лент, шлангов и медицинского

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2024

## ДИНАМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА И ФУНКЦИОналиЗИРОВАННОГО ПОЛИМЕРА, ПОЛУЧЕННЫХ ЖИДКОФАЗНЫМ СОВМЕЩЕНИЕМ ИХ ЛАТЕКСОВ

оборудования и др. [10]. Армирование БСК наполнителем не только усиливает резиновую матрицу, но также может изменить динамические, физико-механические, газонепроницаемые, огнезащитные и другие свойства [10, 11].

Динамические и физико-механические свойства резиновых материалов являются одними из важных свойств резиновых композитов, в частности, включая резину шин, демпфирующий материал и другие области, которые могут отражать фактические характеристики резиновых изделий в различных условиях [12, 13]. Во многих работах изучались динамические и физико-механические свойства резино-полимерных материалов на основе каучуков, модифицированных различными наполнителями, в том числе техническим углеродом, кремнеземом, графитом, целлюлозой и органоглиной [14-17].

В настоящее время интенсивно разрабатываются направления по получению, изучению свойств и применению различных нанодисперсных материалов для создания высокоэффективного композиционного материала.

Функционализированные полимеры (ФП) являются одними из новых продуктов, представляющих интерес в качестве наполнителей резиновых смесей. ФП - это полимерные микрогели, которые состоят из сильно «сшитого» ядра и оболочки с поверхностными функциональными группами. Они имеют сферическую форму размером 10-100 нм. Примером могут служить микрогели Нанопрен, выпускаемые фирмой Ланксес. Нами ФП синтезированы на основе стирола, дивинилбензола и этиленглицольдиметакрилата по методике, приведенной в [18].

Конкретное сочетание резиновой матрицы и наполнителя обычно зависит от размера частиц и физических свойств наполнителя, которые отличаются от исходного эластомерного материала.

Считают, что эффективность использования наночастиц в качестве наполнителей связана с их хорошей совместимостью с резиновой матрицей и способностью равномерно диспергироваться в ней в виде отдельных частиц. При этом, чем выше отношение удельной поверхности к объемной доле наночастиц, тем больше вероятность химического и физического взаимодействия с резиновой матрицей [19].

В последние годы широко исследовались возможности включения наноразмерных наполнителей в полимерные композиты с целью улучшения не только их механических свойств, но также для улучшения термических характеристик [20]. В работах [21, 22] было обнаружено, что добавление наночастиц SiO<sub>2</sub> может повысить термическую стабильность многих полимеров.

Цель работы заключается в улучшении динамических и физико-механических свойств вулканизатов на основе СКС-30 АРКМ-15 путем его модификации функционализированным полимером.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Состав резиновой смеси: каучук СКС-30 АРКМ-15, ГОСТ 11138-78 (ОАО «Синтез-Каучук», г. Стерлитамак), выделенный из его латекса (характеристики латекса: содержание сухого остатка – 20 мас. %, рН=9,8, вязкость каучука по Муни – 48 ед. Муни, поверхностное натяжение – 63 мН/м); технический углерод К-354 (ГОСТ 7885-86); оксид цинка (ГОСТ 202-84); альтакс (ГОСТ 7087-54); сера (ГОСТ 127.4-93); стеариновая кислота (ГОСТ 6484-96); дифенилгуанидин (ГОСТ 40-80).

В качестве модификатора в латекс каучука СКС-30 АРКМ-15 вводили ФП – латекс белого цвета, полученный методом эмульсионной полимеризации при следующем составе сомономеров (% мас.): стирол – 20, дивинилбензол – 60, этиленглицольдиметакрилат – 20 в присутствии ПАВ – лаурилсульфата натрия и стабилизатора гексадекана. Содержание сухого остатка – 30 мас. %, рН=7,8, поверхностное натяжение – 60 мН/м.

Бутадиен-стирольный латекс СКС-30 АРКМ-15 модифицировали ФП до его коагуляции. Модификацию проводили путем жидкофазного смешения указанных латексов в течение 10 минут при температуре 50 °С и скорости перемешивания 350 об/мин; дозировка ФП составляла 5,10 и 15 мас. ч. на 100 мас. ч. в пересчете на «сухой» каучук. Модифицированный каучук выделяли коагуляцией по известной методике с последующей промывкой и сушкой [23]. Контрольные образцы подвергались аналогичной процедуре.

Анализ гранулометрического состава полимерных частиц латексов исходного каучука и опытного сополимера, а также их смесового латекса проведен на анализаторе размеров частиц Malvern Zetasizer Nano S (Malvern Instruments Ltd., Великобритания).

Поверхностное натяжение определяли методом отрыва кольца (метод Дю Нуи) на тензиометре К6 фирмы KRUSS при комнатной температуре.

Рецептура базовой (контроль) и экспериментальных резиновых смесей (РС) приведена в табл. 1. Их получение проводили в резиносмесителе «Вrabender» в течение 15 мин. при температуре вальцев 70°С. Для вулканизации бутадиен-стирольного каучука использовали серную вулканизирующую систему. Вулканизацию РС проводили при температуре 150°С в течение 60 мин.

В исследованиях были использованы стандартные методы определения физико-механических свойств. Физико-механические показатели определяли на разрывной машине РМИ-250 со скоростью движения нижнего зажима 500 мм/мин. по ГОСТ 270-75; твердость по Шору – по ГОСТ 263-75. Эластичность по отскоку по ГОСТ

27110-86, сопротивление раздиру по ГОСТ 262-93. Динамические свойства вулканизатов (модуль упругости и тангенс угла механических потерь) определяли методом динамического термомеханического анализа (ДТМА) на приборе DMA 242 С фирмы NETZSCH при частоте 1 Гц, нагрузке 1Н, интервал температуры нагрева – от комнатной до 350 °С, скорость нагрева – 3 °С/мин.

Таблица 1 – Рецепт базовой и опытных резиновых смесей

Table 1 – Formulations of basic and advanced rubber compounds

Наименование ингредиента	Контроль	Опытные РС. Содержание ФП в каучуке, мас. ч.		
		5	10	15
Каучук СКС-30 АРКМ-15	100			
Каучук СКС-30 АРКМ-15, модифицированный ФП	-	105	110	115
Технический углерод (К-354)	50,0	45,0	40,0	35,0
Оксид цинка	5,0	5,0	5,0	5,0
Альтакс	3,0	3,0	3,0	3,0
Сера	2,0	2,0	2,0	2,0
Стеариновая кислота	1,5	1,5	1,5	1,5
Дифенилгуанидин	0,3	0,3	0,3	0,3

Стойкость к термическому старению оценивали по результатам испытаний физико-механических показателей после выдержки образцов при температуре 100°С в течение 24 ч (ГОСТ 9.024-74).

Влияние ФП на параметры вулканизированной сетки оценивали по значениям плотности цепей сетки, рассчитанным по уравнению Флори-Ренера на основе данных о равновесном набухании вулканизатов в толуоле при температуре 23 (± 2)°С.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Потребление энергии на транспорте составляет более 20% от общего потребления энергии в мире, при этом 20–30% потребления топлива приходится на шины, а сопротивление качению протектора шины составляет 42–54% от сопротивления всей шины [24]. Увеличение расхода топлива означает, что будет выделяться больше углекислого газа. С растущей озабоченностью по поводу сохранения ресурсов и защиты окружающей среды, спрос на высокопроизводительные шины становится все более актуальным. С точки зрения материалов, ключевым узким местом в снижении сопротивления качению шин является разработка нового вида

усовершенствованных эластомерных полимерных нанокмозитов, адаптированных для протектора шин.

Основной стадией работы являлось получение и исследование свойств вулканизатов на основе СКС-30 АРКМ-15, модифицированных ФП.

В результате модификации методом жидкофазного совмещения латекса СКС-30 АРКМ-15 и синтезированного латекса ФП, установлено, что латексы хорошо совмещаются, сохранения стабильность смесевых латексов (содержание сухого остатка – 23,10 % мас.; поверхностное натяжение – 64 мН/м). Такой показатель, как размер частиц латексов, является важным параметром, который определяет его свойства и применение. Чем меньше средний диаметр частиц, тем более однородным и стабильным будет латекс. Поэтому представляло интерес исследовать изменение размеров частиц латекса до и после модификации. Исходные латексы СКС-30 АРКМ-15 и ФП до модификации имели диаметр частиц 29,84 нм и 5,07 нм, соответственно. Частицы смесевых (модифицированного) латексов характеризуются средним диаметром частиц 14,35 нм, что свидетельствует о его стабильности.

Улучшение динамических свойств резины является актуальной задачей современной индустрии. Одним из методов улучшения динамических свойств резины является добавление модификаторов, таких как специальные аддитивы и наполнители. Эти компоненты способны улучшить эластичность, амортизацию и сцепление шины с дорогой, делая ее более устойчивой к переменным нагрузкам и воздействию окружающей среды. Это особенно важно для автомобильной и шинной промышленности, где надежность и безопасность играют решающую роль.

В результате проведенного исследования установлено, что опытный образец, содержащий 5 мас.ч. ФП, проявляет более высокое значение модуля упругости (рис. 1), и образцы, содержащие 5 и 10 мас.ч. ФП, характеризуются более низкими значениями тангенса угла механических потерь ( $tg\delta$ ) по сравнению с контрольным образцом (рис. 2). Это является прямым свидетельством [25] значительного улучшения степени диспергирования ФП внутри резиновой матрицы и, соответственно, повышение комплекса физико-механических свойств резин.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА И ФУНКЦИОналиЗИРОВАННОГО ПОЛИМЕРА, ПОЛУЧЕННЫХ ЖИДКОФАЗНЫМ СОВМЕЩЕНИЕМ ИХ ЛАТЕКСОВ

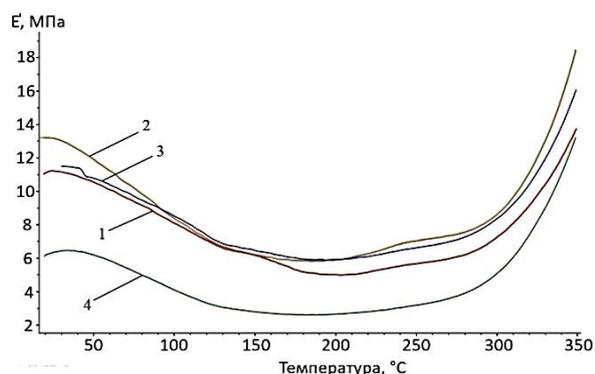


Рисунок 1 - Кривые зависимости модуля упругости ( $E'$ ) от температуры (частота 1 Гц, нагрузка 1Н) для образцов резин на основе СКС-30 АРКМ-15, модифицированного ФП в количестве, мас.ч. на 100 мас.ч. каучука: 1 – контроль (без ФП), 2 – 5; 3 – 10, 4 – 15

Figure 1 – Curves of elastic modulus ( $E'$ ) dependence on temperature (frequency 1 Hz, load 1N) for rubber samples based on SKS-30 ARCM-15 modified with FP in the amount, wt.% per 100 wt.% of rubber: 1 - control (without FP), 2 - 5; 3 - 10, 4 - 15

Результаты динамических механических испытаний показывают снижение  $\text{tg}\delta$  при температуре ниже 100°C у резин, содержащих 5 и 10 мас.ч. ФП и лучше на 20-22% стойкость к динамическим нагрузкам по сравнению с контрольной резиной (рис. 2).

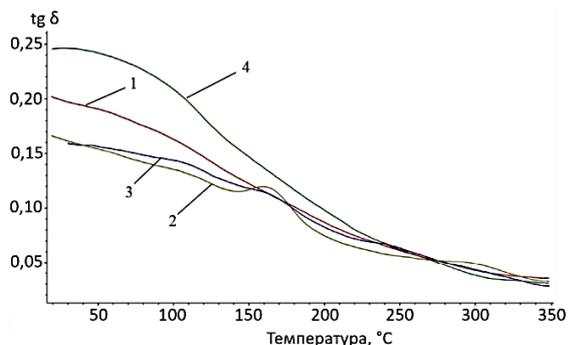


Рисунок 2 - Кривые зависимости тангенса угла механических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) от температуры (частота 1 Гц, нагрузка 1Н) для образцов резин на основе СКС-30 АРКМ-15, модифицированного ФП в количестве, мас.ч. на 100 мас.ч. каучука: 1 – контроль (без ФП), 2 – 5; 3 – 10, 4 – 15

Figure 2 – Curves of dependence of mechanical loss angle tangent ( $\text{tg}\delta$ ) on temperature (frequency 1 Hz, load 1N) for rubber samples based on SKS-30 ARCM-15 modified with FP in the amount, wt.h. per 100 wt.h. of rubber: 1 - control (without FP), 2 - 5; 3 - 10, 4 - 15

Результаты испытаний (табл. 2) показали,

что опытные вулканизаты превосходят контрольный образец по совокупности физико-механических свойств, таких как условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, эластичность по отскоку и сопротивление раздиру.

Установлено, что заметное улучшение свойств опытных вулканизатов (увеличение условной прочности при растяжении - на 29 %, эластичности по отскоку - на 12 % и сопротивления раздиру - на 68 % по сравнению с контрольным вулканизатом) происходит при модификации каучука функционализированным полимером в количестве 10 мас.ч. на 100 мас. ч. полимера.

Модифицированные вулканизаты на основе СКС-30 АРКМ-15 обладают значительно лучшей термостойкостью, оцениваемой по изменению упруго-прочностных свойств в условиях старения, по сравнению с контрольным образцом (табл. 2). Оптимальной является дозировка модификатора 10 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука, при которой наблюдается сохранение на 18% условной прочности при растяжении.

Таблица 2 - Физико-механические показатели образцов резин до старения и изменение показателей после термоокислительного старения

Table 2 - Physical-mechanical performance of rubber samples before aging and changes in indicators after thermal-oxidative ageing

Наименование показателя	Контроль	Опытные РС. Содержание ФП в каучуке, мас. ч.		
		5	10	15
$F_p$	13,1	14,8	16,9	13,8
$\epsilon_p$	300	320	310	330
$\epsilon_o$	4	4	4	4
S	33	38	37	37
H	59	52	52	52
B	24,0	29,0	40,2	22,8
Коэффициенты старения (100°C x 24 ч)				
$K_{fp}$	0,67	0,76	0,79	0,71
$K_{\epsilon p}$	0,56	0,73	0,71	0,63
$K_S$	0,91	0,79	0,81	0,81
$K_H$	1,20	1,25	1,25	1,16

Примечание:  $K$  – коэффициент термостойкости,  $F_p$  - условная прочность при растяжении, МПа;  $\epsilon_p$  – относительное удлинение при разрыве, %;  $\epsilon_o$  - относительное остаточное удлинение после разрыва, %;  $H$  – твердость по Шору А, усл. ед.;  $S$  – эластичность по отскоку, %;  $B$  – сопротивление раздиру, кН/м

Улучшение свойств опытных резин, можно

объяснить, как показано в [26], образованием в объеме эластомерной матрицы сетки физических связей как между частицами ФП, так и между ФП и макромолекулами каучуков и, возможно, обусловлено более высокой плотностью химически связанных цепей сетки по сравнению с контрольным образцом (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты исследования вулканизационной сетки вулканизатов

Table 3 – Results of the study of vulcanization mesh of vulcanizates

Наименование показателя, единица измерения	Контроль	Содержание ФП в каучуке, мас.ч.		
		5	10	15
$M_c$ , г/моль	2620	2366	2330	2808
$v_{хим.}$ , $1 \cdot 10^4$ , моль/см <sup>3</sup>	4,20	4,65	4,76	3,92
$\phi$ , %	164	151	153	207

*Примечание:*  $M_c$  – средняя молекулярная масса цепи между узлами сетки;  $v_{хим.}$  – плотность химически связанных цепи сетки и  $\phi$  – степень набухания

В результате, введение ФП в количестве 10 мас.ч. приводит к повышению значений плотности поперечного сшивания вулканизатов на основе СКС-30 АРКМ-15 в 1,13 раза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена модификация бутадиенстирольная каучука функционализированным полимером методом жидкофазного совмещения их латексов. На основе модифицированных каучуков получены вулканизаты. Установлено, что наличие ФП в составе каучука способствует комплексному улучшению практически значимых свойств резины (динамических и физико-механических) по сравнению с немодифицированным каучуком:

- опытный образец, содержащий 5 мас.ч. ФП, характеризуется более высоким значением модуля упругости по сравнению с контрольным образцом. Это является прямым свидетельством значительного улучшения степени диспергирования функционализированного полимера в каучуковой матрице;

- стойкость к динамическим нагрузкам выше на 20-22% у резин, содержащих 5 и 10 мас.ч. ФП, по сравнению с контрольной резиной, о чем свидетельствуют меньшие значения показателя  $tg\delta$  при температурах в интервале 25-100°C.

- физико-механические характеристики резин на основе модифицированных каучуков улучшаются по сравнению с контрольным образцом. Можно отметить значительный рост

значений условной прочности для опытных резин, причем более высокие значения отмечаются для резин с содержанием 10 мас.ч. ФП.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. S. Ramarad, M. Khalid, C.T. Ratnam, A.L. Chuah, W. Rashmi. Waste tire rubber in polymer blends: a review on the evolution, properties and future, Prog. Mater. Sci. 72 (2015), 100–140.
2. S. Sinha Ray, M. Okamoto. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing, Prog. Polym. Sci. 28 (2003), 1539–1641.
3. H. Zhu, X. Xiao, Z. Guo, X. Han, Y. Liang, Y. Zhang, C. Zhou. Adsorption of vanadium (V) on natural kaolinite and montmorillonite: characteristics and mechanism, Appl. Clay Sci. 161 (2018), 310–316.
4. A. Malas, P. Pal, S. Giri, A. Mandal, C.K. Das. Synthesis and characterizations of modified expanded graphite/emulsion styrene butadiene rubber nanocomposites: mechanical, dynamic mechanical and morphological properties, Nanocompos. Part B: Eng. 58 (2014), 267–274.
5. R. Peter, V.R. Vijay, S. Ramakrishnan, R. Sukumar, A.R.R. Menon. Phosphorylated Cashew Nut Shell Liquid prepolymer modified kaolin as a reinforcing filler for natural rubber, Appl. Clay Sci. 105–106 (2015), 186–191.
6. S. Prasertsri, N. Rattanasom. Fumed and precipitated silica reinforced natural rubber nanocomposites prepared from latex system: mechanical and dynamic properties, Polym. Test. 31 (2012), 593–605.
7. L. Lv, S. Bai, H. Zhang, J. Wang, J. Xiao, J. Yang. Dynamic properties of glass-fiber-cored lead-wire reinforced rubber nanocomposites, Mater. Sci. Eng., A 429 (2006) 124–129.
8. Y. Zhang, Q. Liu, R.L. Frost. Quantitative characterization of kaolinite dispersibility in styrene-butadiene rubber nanocomposites by fractal dimension, Polym. Nanocompos. 36 (2015), 1486–1493.
9. Z. Zhang, X. Lu, P. Su. Dispersion of kaolin powders in silica sols, Appl. Clay Sci. 49 (2010), 51–54.
10. Y. Zhang, Q. Liu, S. Zhang. Y. Zhang, Y. Zhang, P. Liang. Characterization of kaolinite/styrene butadiene rubber composite: mechanical properties and thermal stability, Appl. Clay Sci. 124–125 (2016), 167–174.
11. Z.F. Wang, B. Wang, N. Qi, H.F. Zhang, L.Q. Zhang. Influence of fillers on free volume and gas barrier properties in styrene-butadiene rubber studied by positrons, Polymer 46 (2005), 719–724.
12. L.M. Stadtmueller, K.R. Ratinac, S.P. Ringer. The effects of intragallery polymerization on the structure of PMMA-clay nanocomposites, Polymer 46 (2005), 9574–9584.
13. S.Q.X. Fu. Polymer-clay nanocomposites exfoliation of organophilic montmorillonite nanolayers in polystyrene, Polymer 42 (2001), 807–813.
14. P.D. Michael Alexandre. Polymer-layered silicate nanocomposites preparation, properties and

## ДИНАМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ПОЛИМЕРА, ПОЛУЧЕННЫХ ЖИДКОФАЗНЫМ СОВМЕЩЕНИЕМ ИХ ЛАТЕКСОВ

uses of a new class of materials, Mater. Sci. Eng. 18 (2000), 1–63.

15. Y. Zhang, Q. Liu, Q. Zhang, Y. Lu. Gas barrier properties of natural rubber/kaolin nanocomposites prepared by melt blending, Appl. Clay Sci. 50 (2010), 255–259.

16. E. Picard, A. Vermogen, J. Gerard, E. Espuche. Barrier properties of nylon 6-montmorillonite nanocomposite membranes prepared by melt blending: influence of the clay content and dispersion state Consequences on modelling, J. Membr. Sci. 292 (2007), 133–144.

17. J.W. Gilman. Flammability and thermal stability studies of polymer layered-silicate clay nanocomposites, Appl. Clay Sci. 15 (1999), 31–49.

18. Галкина, Н.В. Синтез и исследование свойств функционализированных полимерных наполнителей / Н.В. Галкина, А.П. Рахматуллина, М.А. Ибрагимов, З.А. Саитбатталова, И.Ш. Насыров // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – №24. – С. 45-48.

19. Обрехт, В. Nanoprene продлит срок службы автомобильных шин / В. Обрехт // Каучук и резина. - 2009. - № 2. - С. 33-35.

20. K. Chrissafis, K.M. Paraskevopoulos, E. Pavlidou, and D. Bikiaris. Thermal degradation mechanism of HDPE nanocomposites containing fumed silica nanoparticles, Acta, 2009, vol. 485, nos. 1–2, pp. 65–71.

21. G. Antoniadis, K.M. Paraskevopoulos, A. Vassiliou, D.N. Bikiaris, K. Chrissafis. Comparative study of the effect of different nanoparticles on the mechanical properties and thermal degradation mechanism of in situ prepared poly( $\epsilon$ -caprolactone) nanocomposites, Comp. Sci. Technol., 67 (2007), p. 2165.

22. K.M. Paraskevopoulos, G.Z. Papageorgiou, K. Chrissafis, D.N. Bikiaris J. Appl. Thermal and dynamic mechanical behavior of bionanocomposites: Fumed silica nanoparticles dispersed in poly(vinyl pyrrolidone), chitosan, and poly(vinyl alcohol), Polym. Sci., 110 (2008), p. 1739.

23. Галкина, Н.В. Модификация эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков функционализированными полимерными наполнителями / Н.В. Галкина, М.А. Ибрагимов, З.А. Саитбатталова, Б.С. Гришин, А.Г. Ликумович // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2015. -№4. – С. 23-27.

24. Qifei Wu, Ling Liu, Junquan Meng, Shilin Liu, Jiong Hui, Xue Wang, Lin Xu, Liqun Zhang.

Microstructure and Performance of Green Tire Tread Based on Epoxidized Solution Polymerized Styrene Butadiene Rubber and Epoxidized Natural Rubber. Industrial & Engineering Chemistry Research 2023, 62 (13), 5582-5593.

25. Богоявленская, Е.В. Свойства вулканизатов и резиновых смесей на основе БСК, модифицированных литийорганическими инициаторами, содержащими аминотираны. Богоявленская Е.В., Будеева А.В., Вольфсон С.И. // Каучук и резина. – 2019. - №.3. - Т78. - С. 152-155.

26. Багряшов С.В. Влияние сшитого эластичного нанодисперсного полимерного материала на упруго-гистерезисные свойства резин: дис. ... канд. тех. наук. Казань, 2011. 163 с.

### **Информация об авторах**

*А. Акмырадов – аспирант кафедры технологии синтетического каучука Казанского национального исследовательского технологического университета.*

*М.А. Ибрагимов - кандидат технических наук, доцент кафедры технологии синтетического каучука Казанского национального исследовательского технологического университета.*

*А.П. Рахматуллина – доктор технических наук, профессор кафедры технологии синтетического каучука Казанского национального исследовательского технологического университета.*

### **Information about the authors**

*A. Akmyradov – Ph.D student of the Department Technology of synthetic rubber, Kazan National Research Technological University.*

*M. A. Ibragimov – Ph.D., associate professor of the Department Technology of synthetic rubber, Kazan National Research Technological University.*

*A. P. Rakhmatullina – doctor of Technical Sciences, professor of the Department Technology of synthetic rubber, Kazan National Research Technological University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.*

*The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.*